A.J. Gaston
B.T. Collins
A.W. Diamond

Estimating densities of birds at sea and the proportion in flight from counts made on transects of indefinite width

Environment Canada
Environnement Canada

Canadian Wildlife Service
Service canadien de la faune

A.J. Gaston*
B.T. Collins*
A.W. Diamond*

Estimating densities of birds at sea and the proportion in flight from counts made on transects of indefinite width

Occasional Paper
Number 59
Canadian Wildlife Service

Également disponible en français

*CWS, Ottawa, Ont. K1A 0E7.

Issued under the authority of the
Minister of Environment
Canadian Wildlife Service

© Minister of Supply and Services Canada 1987
Catalogue No. CW69-1/59E
ISBN 0-662-14979-3
ISSN 0576-6370

Design: Rolf Harder & Assoc.

Contents

4	Acknowledgements
4	**Abstract**
5	**Introduction**
6	**Developing an index of density**
6	1. Basis of density index
6	2. Correction for birds sitting on the sea
7	3. Correction for flying birds
7	4. Proportions of birds in flight and on the water
8	**Results**
8	1. Comparison of observed and calculated proportions of birds in flight
8	2. The effect of inaccuracy in the estimation of input parameters on the estimate of bird density
9	3. Comparison with estimates of birds per kilometre
11	**Literature cited**
12	**Appendices**

List of tables

7	Table 1. Formulae for calculating bird densities
9	Table 2. Observed (uncorrected) proportions of birds in flight
10	Table 3. Input parameters used in estimating true proportions of birds in flight
10	Table 4. Estimated true proportions of birds in flight for selected months
10	Table 5. Changes in estimates of density for a 50% change in input parameters
10	Table 6. Relationship between estimated density at 4 km h^{-1} and at 20 km h^{-1} for 50% change in input parameters

List of figures

8	Figure 1. Relationship of true proportion of birds in flight to observed proportion for different model assumptions
12	Figure A1. Effective area covered when watching 180° centered on the boat's heading
12	Figure A2. Effective area covered when watching 180° to one side of the boat
13	Figure A3. Effective area covered when watching 270° centered on the boat heading

List of appendices

12	Appendix 1. Calculation of density of flying birds when the observer watches less than 360° of arc
14	Appendix 2. Formulae to calculate true proportions of birds in flight for observations over various arcs, assuming ship speed is much lower than bird speed

Acknowledgements

We thank Steve Wendt, Hugh Boyd, David Schneider, Declan Troy, and John Smith for helpful comments on earlier drafts.

Abstract

Counts of seabirds at sea are sometimes made without defining an outer transect width or measuring the distance to each sighting. These counts can be converted into indices of abundance by expressing them as birds per unit time or per distance travelled. If the relative motion of flying birds is taken into account, then the comparability of such indices can be improved. In addition, the relative density of birds in flight and on the water can be estimated. We present methods for doing this, based on knowledge of flight speeds and range of detectability. We examine the sensitivity of our estimates to variation in input values and show that, provided that species are ranked in the correct order according to their detectability, then our corrected indices must be an improvement over uncorrected values in making interspecific comparisons.

Introduction

Surveys of seabirds at sea have been carried out over large areas during the past 15 years (King 1974, Brown *et al.* 1975, Powers 1982, Tasker *et al.* 1984). The intention of these surveys has been to identify the distribution and relative abundance of seabirds, partly to assess the possible impact of off-shore oil developments. Early surveys, including the Canadian Wildlife Service (CWS) sponsored PIROP (*Programme intégré des recherches sur les Oiseaux Pélagiques*), were based on observations of 10 min duration made over a variety of arcs of observation and without any fixed transect width. This type of survey has the advantage that it does not depend on the observer's being able to estimate transect width or handle a range finder. Consequently inexperienced observers can make a contribution, an important factor in taking advantage of every opportunity to collect observations over extensive areas.

Results from surveys not using a fixed transect width have normally been expressed either as birds per unit time or as birds per linear kilometre. Both methods are used as indices of bird densities, but both have attendant drawbacks. When observations are expressed as birds per unit time there is a high variance caused by the speed of the ship. However, the correction to birds per linear kilometre takes no account of the fact that at slow speeds most flying birds counted enter the observer's field of observation by virtue of their own motion rather than that of the ship.

These problems have been considered by most writers who have dealt with seabird observations at sea (see references in Tasker *et al.* 1984). In all cases the possibility of producing a better index of abundance by introducing factors other than time and ship's speed have been rejected because additional variables (range of detection, flight speed) could not be measured with sufficient precision to make the effort worthwhile. Intensive surveys of seabirds carried out over the past 10 years have generally involved use of a fixed transect width or estimation of the distance at which birds were observed (Ainley and Boekelheide 1983, Tasker *et al.* 1984, Weins *et al.* 1978, Briggs *et al.* 1985). In all cases they have been dependent on a corps of trained observers.

Here, we attempt to provide a better index of abundance, one which has a lower variability and which allows quantitative comparisons to be made between observations at different ship speeds and between the abundance of different species. We believe that information currently available on range of detection and flight speed, though crude, still allows us to make a big improvement on indices used previously. To test the robustness of our index when imprecise input parameters are used, we have examined the effect of errors in input parameters on the resulting indices for several simulated cases. We have also compared the performance of our index to that of the birds-per-linear-kilometre index (hereafter, linear index).

In practice the problem presented by transect censuses of seabirds at sea differs from other line transect estimates of birds only in that a large proportion of the birds encountered are in flight. This makes it important to use a density index that incorporates the movement of flying birds into the transect area during the course of the transect. Although a considerable literature is available on line and belt transects for terrestrial birds (see Anderson *et al.* 1976, Järvinen and Väisänen 1975, Sen *et al.* 1974, Burnham *et al.* 1980, and references in Ralph and Scott 1981) these methods do not take into account bird movements unrelated to the observer.

Developing an index of density

The PIROP database has been accumulated over the past 15 years (Brown *et al.* 1975; Brown, 1986). Observations were made by a large number of observers, some of whom had only limited training, and procedures for recording were therefore deliberately kept simple. All birds seen in a 10-min period were counted, irrespective of their distance from the observer. Sometimes the activity of the bird (i.e., flying, on the water) was also recorded. A variety of other information on weather and sea conditions, height of observer, and so on, was also recorded for each watch, as was the vessel's speed. Full details are given in Brown *et al.* (1975).

Maps prepared from this database illustrate the density of birds in terms of the average numbers recorded per kilometre in a given month and grid square. These give a good picture of presence and absence and a good indication of relative abundances. Being compiled from a large number of records (c. 300 000), the resulting figures, at least for the common species, are probably based on large enough samples to make the effect of random variation in the proportion of birds seen and the amount of sea scanned (e.g., due to weather, light conditions, etc.) relatively unimportant. However, expressing the relative abundance of birds in terms of birds per kilometre results in a systematic correlation with ship's speed. As ship's speed is neither constant nor random in relation to area (e.g., in the PIROP data average ship's speeds are generally higher at higher latitudes because of a correlation with the type of vessel used and time of year), this causes bias in comparisons of different geographical areas. In addition, comparisons of relative abundance among species of differing size and colour are affected by differences in the range at which birds can be detected. Those species that are easy to detect appear commoner relative to cryptic species than they really are.

1. Basis of density index

The index is based on estimating (1) the area over which a given species could have been detected during a watch period, and (2) the number of flying birds that can be expected to enter the observer's field of vision during a watch. Our formulae are devised to apply to the 10-min watches used by the CWS's PIROP database (Brown *et al.* 1975), but could be easily modified for data based on different watch periods. We use the following terms:

- Area scanned (A) = total area over which a given species could have been detected during the course of a watch (km^2);
- Density of birds (D) = actual number of birds per unit area at a given instant (birds km^{-2});
- Detection radius (r) = distance at which a particular species can be detected (km);
- Arc of observation = the angle subtended by the observer's field of vision.

Not all birds within the observer's potential range of detection will actually be recorded and the proportion seen changes as a function of distance. This function is termed the "detection function" (Burnham *et al.* 1980) and a variety of techniques have been used to estimate it and use it to correct raw counts. The shape of the function probably varies among species (Weins *et al.* 1978), but as the shape is unknown for the majority of species under consideration we have not attempted to incorporate it. Instead we have based our model on the assumption that all birds are seen within a given radius (Type II estimator of Weins *et al.* 1978), using the arithmetic mean of the detection distances (Gates 1968, 1969).

2. Correction for birds sitting on the sea

Birds that are sitting on the sea are normally either at rest or moving slowly relative to the speed of the ship. Consequently, they can be treated as stationary objects, and the number seen per unit time will be a function of the area scanned (A_s) and the density of the birds (D_s, subscript s refers throughout to birds on the sea surface). Hence

$$N_s = A_s D_s \qquad (1)$$

where N_s is the number of birds of a given species seen during a watch.

The area scanned is determined by the range at which a bird is detected (r_s), the speed of the ship (S km h^{-1}) and the arc of observation over which the observer scans.

Initially, we deal with the case in which the observer scans an entire 360° arc. In that case, the area scanned is a long rectangular strip with a semicircle at each end.

$$A_s = \pi r_s^2 + 2 r_s t S \qquad (2)$$

where t is the length of the watch in hours. Because PIROP watches are standardized at 10 min (2) can be simplified to

$$A_s = \pi r_s^2 + r_s S/3 \qquad (3)$$

Rearranging formula (1) and substituting for A_s yields

$$D_s = N_s/(\pi r_s^2 + r_s S/3) \qquad (4)$$

Table 1
Formulae for calculating bird density for *a*) birds on the sea, and *b*) flying birds when ship's speed is much less than bird's speed

Arc scanned	Density of birds on sea	Density of flying birds
360°	$N_s/(\pi r_s^2 + r_s S/3)$	$N_f/(\pi r_f^2 + r_f V/3)$
180° forward symmetric about boat's heading	$N_s/(\pi r_s^2/2 + r_s S/3)$	$N_f/[\pi r_f^2/2 + r_f V(1 + 2/\pi)/6]$
180° to one side of boat	$N_s/(\pi r_s^2/2 + r_s S/6)$	$N_f/[\pi r_f^2/2 + r_f V(1 + 2/\pi)/6]$
270° forward symmetric about boat's heading	$N_s/(3\pi r_s^2/4 + r_s S/3)$	$N_f/g_3(r_f, V, S)$*

*See Appendix 1, Case III.

In some PIROP watches the observer watches only a fraction of the entire 360° arc. The areas scanned are shown in Table 1 for 3 cases: *i*) scanning a 270° arc symmetrical about the boat's heading, *ii*) scanning a 180° arc symmetrical about the boat's heading, and *iii*) scanning a 180° arc on one side of the boat. Watches which are coded as 315° or 360° intermittently are treated as covering the entire 360° arc.

3. Correction for flying birds

The effective area covered by a transect must take into account the bird's speed and direction relative to the ship. (Subscript f refers throughout to flying birds.) When birds are flying in at a speed V in a direction θ relative to the boat, then Gaston and Smith (1984) have shown that the speed of the birds relative to the boat is

$$V_0(\theta) = V\sqrt{\cos(\theta - S/V)^2 + (\sin\theta)^2} \tag{5}$$

and the birds appear to be approaching from a direction $\alpha(\theta)$ where

$$\tan\alpha(\theta) = \frac{\sin\theta}{\cos\theta - S/V} \tag{6}$$

For an observer scanning 360°, the area covered is a long rectangular strip, at an angle $\alpha(\theta)$ to the boat's heading, with a semicircle at each end. This strip has width $2r_f$ and length $V_0(\theta)/6$ (for a standard PIROP watch of 10 min). Thus, the area of the strip seen for birds on heading θ is

$$A(\theta) = \pi r_f^2 + 2r_f V_0(\theta)/6 \tag{7}$$

Let $D_f(\theta)$ denote the density of birds flying in direction θ. Assuming birds are equally likely to be travelling in any direction, then $D_f(\theta) = D_f/2\pi$ where D_f is the overall density of flying birds. The density of birds recorded that are flying in direction θ is given by the product $D_f(\theta)A(\theta)$ and the total number of birds seen is calculated by integrating over θ.

$$N_f = \int_{-\pi}^{\pi} \frac{D_f}{2\pi}[\pi r_f^2 + r_f V_0(\theta)/3]\,d\theta \tag{8}$$

This equation is difficult to manipulate algebraically but it can be solved through numerical integration. However, if the ship's speed is much smaller than that of the birds, then $V_0(\theta)$ will be close to V. Substituting V for $V_0(\theta)$ in (8) gives

$$N_f = D_f(\pi r_f^2 + r_f V/3) \tag{9}$$

The impact of substituting V for $V_0(\theta)$ was evaluated through a numerical integration of (8). The integral was evaluated using the trapezoid rule with 1000 division points. It was found that if the boat's speed was one-fifth the bird's speed or less, then the error caused by the substitution was less than 1%, whereas if the boat's speed was one-half of the bird's speed the error climbed to 6%.

Rearranging equation (8) gives the formula for the density of flying birds

$$D_f = \frac{N_f}{\int_{-\pi}^{\pi}[\pi r_f^2 + r_f V_0(\theta)/3]/2\pi\,d\theta} \tag{10}$$

In the special case where S is much smaller than V, the density of flying birds is

$$D_f = \frac{N_f}{\pi r_f^2 + r_f V/3} \tag{11}$$

The derivation of the formulae for the three cases in which the observer watches only a portion of the 360° arc are given in Appendix 1. The formulae for the case in which S is much less than V are given in Table 1.

The formulae (10), (11) and those in Table 1 apply only where birds are equally likely to be flying in any direction. If the birds are flying with uniform headings and the ship is in motion, then the number seen will be affected by the angle between the ship's heading and the bird's heading. This information was not recorded in most records in the PIROP files. We have therefore assumed that errors introduced by this effect will be randomized with respect to different areas and species.

In practice, whether birds were flying or on the water was not always recorded. Consequently, we must use the proportions of these two categories derived from the subset of observations (usually ≥50%) where this information is present. If p is the proportion of birds that are recorded as flying then $N_f = N_p$ and $N_s = N(1 - p)$.

Further modification of this formula is necessary for the case of birds that maintain a zigzag course. The rate at which these birds enter the observer's field is proportional to their ground speed averaged over a number of zigzags and we have used a species-specific constant (K) to estimate average ground speed (V') where

$$V' = V/K$$

with K varying from 1.0 for the most direct fliers (alcids) to 1.5 for the least direct (procellarids) (cf. Croxall *et al.* 1984).

Where this modification is included V' is substituted for V throughout.

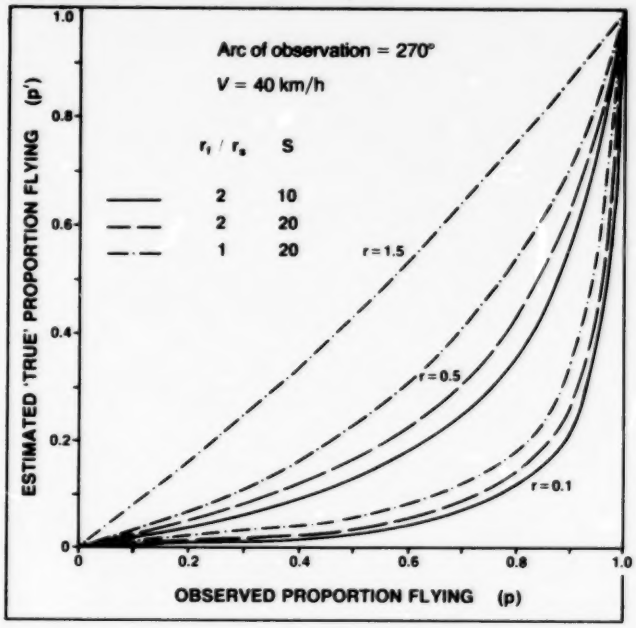
4. Proportions of birds in flight and on the water

The true proportion of birds in flight (p') can be estimated from

$$p' = D_f/(D_f + D_s) \tag{12}$$

By substituting for D_s and D_f from formulae (4) and (11) we can estimate p' from p, r_f, r_s, V and S. When S is less than half V, p' can be simplified using the procedures

Figure 1
Relationship of true proportion of birds in flight (p') to observed proportion (p) for different model assumptions



described above. Explicit formulae for p' are given in Appendix 2.

Estimates of p' for different values of p show that the difference between the two is greatest where p is about 0.5, and least in the extreme cases where p approaches 0 or 1 (Fig. 1). Using hypothetical values for r_s, r_i, and V there seems to be relatively little difference in estimates of p' for different values of r_i relative to r_s. The difference between the two decreases with increasing ship's speed and decreasing flight speed, but remains substantial for $V = 40$, $S = 20$ and $V = 20$, $S = 10$ (Fig. 1).

Results

1. Comparison of observed and calculated proportions of birds in flight

The proportions of birds in flight (p) were calculated for 19 taxa from the PIROP data sets for each of the 7 months September through March (Table 2). (Birds in behaviour categories 10, 40–43, 60 and 65 were counted as "flying" [F], and those in categories 20–30 inclusive as "swimming" [S] [Brown *et al.* 1975]; thus $p = F/[F + S]$.)

These values of p were then used to estimate true proportions of birds in flight in each month, from equations 10 and 12. The mean ship's speed in each month was also calculated from the PIROP data. Values of bird flight speed (V), radius of detection (r_s), and the ratio r_i/r_s were obtained from the literature (Table 3). Zigzag indices (K) were assigned on the basis of casual observations. To increase comparability we have taken all estimates of r_s from a single source (Dixon 1977).

Calculated values of p are given in Table 4; comparison with Table 2 shows the extent to which the number of flying birds can be overestimated if this correction is not made. For "species-months" where ≥95% of observations are of birds in flight the effect is fairly small, with estimates of the true proportions in flight exceeding 80%. However, where the proportion seen in flight is less than 80% the effect is striking, with estimates of true values mainly less than 70% of observed proportions. The correction therefore has important implications in the use of counts made at sea to derive the proportions of time spent in flight by certain species; this would be the case where the data are to be used in estimates of daily energy expenditure.

2. The effect of inaccuracy in the estimation of input parameters on the estimate of bird density

To test the effect of variation in input parameters we considered two models: (1) a "puffin" type species, with low contrast when seen against the sea, and flying fast and direct and (2) a "fulmar" type species, with good contrast when viewed against the sea, and flying at a slower speed with much zigzaging. The values adopted for the variables are taken from Table 3. In each case we assumed a density of 100 birds km^{-2} and, using formulae (4) and (7), calculated how many birds would be seen by an observer scanning 360°, and what proportion of those counted would be flying. We then kept the number of birds seen constant and recalculated the estimated density changing each input value in turn by ±50% (Table 5).

The estimated density (D) for both models was most sensitive to changes in r_s and least sensitive to changes in V'.

The true value of V' probably falls well inside the extreme values tested for both model species and the level of accuracy for this variable therefore appears sufficient for the demands of the model. The proportion of birds flying, being derived directly from the observations to be transformed, is also probably known with sufficient accuracy. Unfortunately, the variable to which the model is most sensitive, r_s, is the one most difficult to measure, and for which available measurements are therefore least precise.

3. Comparison with estimates of birds per kilometre

Because of the large effect of the poorly known variable r, on estimated densities it seems inappropriate at present to use formulae (4) and (7) as estimates of actual density. However, they can be used to indicate relative density, and have several advantages over the previously used index, birds km^{-1} (N/S).

First, the new index (hereafter referred to as the "area index," as opposed to the "linear index"), is much less affected by the speed of the vessel. For estimates of D where all input variables are correct the area index is, of course, unaffected by ship's speed. The ratio of the area index at 4 km h^{-1} to that at 20 km h^{-1} for a 50% error in input variables is shown in Table 6. For the initial assumptions that we

Table 2
Observed (uncorrected) proportions of birds in flight

Species	Jan	Feb	Mar	Sep	Oct	Nov	Dec
Northern Fulmar (*Fulmarus glacialis*)	.80	.83	.43	.37	.69	.79	.98
Greater Shearwater (*Puffinus gravis*)				.79	.60	.98	1.0
Sooty Shearwater (*Puffinus griseus*)				.96	.57		
Petrels (*Oceanites oceanicus* and *Oceanodroma leucorhoa*)				.97	.72		
Northern Gannet (*Sula bassanus*)				.92	.79	.66	.97
Phalaropes (*Phalaropus* spp.)				.37	.82	.51	
Jaegers (*Stercorarius* spp.)				.75	.70	.95	
Skuas (*Catharacta* spp.)				.87	1.0		
Black-legged Kittiwake (*Rissa tridactyla*)	.37	.59	.67	.44	.55	.78	.55
Ivory Gull (*Pagophila eburnea*)	.11	.92		.81		1.0	.90
Herring Gull (*Larus argentatus*)	.88	.85	.93	.23	.70	.80	.94
Iceland Gull (*Larus glaucoides*)	.50	.88	.82	.75	.29	.51	
Great Black-backed Gull (*Larus marinus*)	.65	.55	.58	.39	.78	.82	.99
Glaucous Gull (*Larus hyperboreus*)	.89	.68	.06	.46	.50	.58	.93
Dovekie (*Alle alle*)	.93	.92	.85	.18	.71	.75	.62
All murres (*Uria* spp.)	.66	.56	.76	.56	.53	.70	.83
Black Guillemot (*Cepphus grylle*)		.37	.06	.80	.91		
Atlantic Puffin (*Fratercula arctica*)	.50			.68	.40	.20	
Mean ship's speed, km/h	19.5	21.6	16.7	18.9	19.3	18.5	23.2
Mean arc of observation*	.64	.66	.73	.73	.73	.61	.62

*1.0 = 360°.

have adopted, these ratios are all much closer to unity than the corresponding ratios for the linear index (Table 6). This remains true except for very small values of r, where the two indices converge.

Secondly, the area index reduces the bias against less visible species. Using our initial assumptions, the linear index yields a figure for "fulmars" that is 2.9 times that for "puffins" at a ship's speed of 20 km h^{-1} and this discrepancy is larger at lower speeds. In contrast, a 50% error in the most important variable (r) for "fulmars" yields an area index only 2.1 times that for "puffins" at 20 km^{-1}. Similar errors in the same direction for both species yield negligible differences in the relative value of their area indices. Consequently, the accuracy with which area indices estimate the relative abundance of different species reflects the relative accuracy with which the input variables are measured among species. In the case of r, relative values can probably be assigned with greater confidence than actual values. For instance, we might consider that r_s for murres falls somewhere between 0.2 and 0.5 km and for fulmars between 0.4 and 0.8 km. However, if we assume a value of 0.5 km for murres we shall certainly require a value of 0.6 km or greater for the paler-coloured fulmar which is more readily detectable on the sea and in flight.

Provided that the values chosen for r, for different species can be correctly ranked, the accuracy of inter-specific comparisons made on the basis of the area index will always be greater than similar comparisons based on the linear index.

Table 3
Input parameters used in estimating true proportions of birds in flight (p'). Sources are numbered in parentheses

Species	Speed, km h^{-1}	r_s, km	r_f/r_s	Zigzag, K
Northern Fulmar	43 ± 4(1)	0.35 ± 0.19(2)	1.3(6)	1.5
Greater Shearwater	40	0.3	1.3	1.3
Sooty Shearwater	40	0.25	1.1(6)	1.3
Petrel spp.	35	0.15	1.3	1.5
Northern Gannet	72 ± 7(3)	0.36 ± 0.14(2)	1.3	1.3
Phalarope spp.	35	0.15	1.3	1.0
Jaeger spp.	40	0.27 ± 0.18(2)	1.3	1.3
Skua	40	0.40 ± 0.11(2)	1.3	1.3
Black-legged Kittiwake	34 ± 6(4)	0.22 ± 0.08(2)	1.9(6)	1.3
Ivory Gull	35	0.4	1.3	1.3
Herring Gull	39 ± 4(4)	0.5	1.0(6)	1.3
Iceland Gull	39	0.5	1.0	1.3
Great Black-backed Gull	40	0.54 ± 0.11(2)	1.0	1.3
Glaucous Gull	40	0.6	1.0(6)	1.3
Dovekie	45	0.15	1.8	1.0
All murres	58(5)	0.22 ± 0.09(2)	1.3(6)	1.0
Black Guillemot	50(5)	0.2	1.2	1.0
Atlantic Puffin	50	0.21 ± 0.08(2)	1.8(6)*	1.0

SOURCES: (1) Pennycuik (1960); (2) Dixon (1977); (3) Nelson (1978); (4) Schnell and Hellack (1979); (5) Bradstreet (1982); (6) Wiens *et al.* (1978).

*Using figures for Horned Puffin (*Fratercula corniculata*).

Table 5
Changes in estimates of density (D) for a 50% change in input parameters. Ship's speed 10 km h^{-1}

Input parameter	"Puffin" model*		"Fulmar" model†	
	+50%	−50%	+50%	−50%
Radius of visibility on sea, r_s	−36	+109	−37	+114
Ratio $r_f/r_s(x_i)$	−5	+15	−9	+27
Flight speed, V	−6	+7	−5	+10
Proportion in flight, p'	−36	+36	−25	+25

*r_s = 0.21 km, r_f = 0.315 km, V = 50 km h^{-1}, K = 1.0.
†r_s = 0.35 km, r_f = 0.45 km, V = 43 km h^{-1}, K = 1.5.

Table 6
Relationship between estimated density at 4 km h^{-1} and at 20 km h^{-1} (D_4/D_{20}) for 50% change in input parameters

Input parameter	"Puffin" model*		"Fulmar" model†	
	+50%	−50%	+50%	−50%
Radius of visibility on sea, r_s	0.90	1.14	0.89	1.18
Ratio $r_f/r_s(x_i)$	1.03	0.92	1.05	0.90
Flight speed, V	1.02	0.97	1.02	0.99
Proportion in flight, p'	0.86	1.06	0.84	1.10
N/S (linear index)	1.50		1.82	

*†Input parameters as for Table 4.

Table 4
Estimated true proportion of birds in flight for selected months

Species	Jan	Feb	Mar	Sep	Oct	Nov	Dec	$\bar{x}$
Northern Fulmar	0.66	0.71	0.25	0.26	0.57	0.65	0.97	0.58
Greater Shearwater				0.64	0.41	0.96	1.00	0.75
Sooty Shearwater				0.93	0.42			0.67
Petrel spp.				0.95	0.59			0.77
Northern Gannet				0.77	0.52	0.36	0.90	0.64
Phalarope spp.				0.20	0.65	0.19		0.35
Jaeger spp.				0.58	0.52	0.90		0.67
Skua				0.76	1.00			0.88
Black-legged Kittiwake	0.17	0.33	0.41	0.21	0.29	0.55	0.29	0.32
Ivory Gull	0.06	0.85		0.69		1.00	0.82	0.68
Herring Gull	0.83	0.79	0.90	0.16	0.60	0.72	0.91	0.70
Iceland Gull	0.39	0.83	0.75	0.66	0.21	0.40		0.54
Great Black-backed Gull	0.54	0.44	0.47	0.29	0.69	0.74	0.98	0.59
Glaucous Gull	0.84	0.58	0.04	0.35	0.39	0.47	0.90	0.51
Dovekie	0.76	0.73	0.57	0.05	0.37	0.42	0.28	0.45
All murres	0.35	0.26	0.46	0.26	0.24	0.39	0.57	0.36
Black Guillemot		0.16	0.02	0.57	0.77			0.38
Atlantic Puffin	0.18			0.32	0.13	0.05		0.17

Literature cited

Ainley, D.G.; Boekelheide, R.J. 1983. An ecological comparison of oceanic seabird communities of the south Pacific Ocean. Studies in Avian Biol. 8: 2–23.

Anderson, D.R.; Laake, J.L.; Crain, B.R.; Burnham, K.P. 1976. Guidelines for line transect sampling of biological populations. Utah State Univ. Press. Logan, Utah. 27 pp.

Bradstreet, M.S.W. 1982. Occurrence, habitat use and behaviour of seabirds, marine mammals and arctic cod at the Pond Inlet ice edge. Arctic 35: 28–40.

Briggs, K.T.; Tyler, W.B.; Lewis, D.B. 1985. Comparison of ship and aerial surveys of birds at sea. J. Wildl. Manage. 49: 405–411.

Brown, R.G.B. 1986. Revised atlas of eastern Canadian seabirds. 1. Shipboard surveys. Can. Wildl. Serv. Dartmouth, N.S. 111 pp.

Brown, R.G.B.; Nettleship, D. ; Germain, P.; Tull, C.E.; Davis, T. 1975. Atlas of eastern Canadian seabirds. Can. Wildl. Serv. Ottawa. 220 pp.

Burnham, K.P.; Anderson, D.R.; Laake, J.L. 1980. Estimation of density from line transect sampling of biological populations. Wildl. Monogr. 72: 202 pp.

Croxall, J.P.; Ricketts, C.; Prince, P.A. 1984. Impact of seabirds on marine resources, especially Krill, of South Georgia waters. Pages 285–317 *in* Whittow, G.C.; Rahn, H., eds., Seabird Energetics. Plenum Press, New York.

Dixon, J.J. 1977. The distance at which sitting birds can be seen at sea. Ibis 119: 372–374.

Gaston, A.J.; Smith, G.E.J. 1984. The interpretation of aerial surveys for seabirds: some effects of behaviour. Can. Wildl. Serv. Occas. Pap. No. 53. 20 pp.

Gates, C.E. 1968. A preliminary appraisal of line transects. J. Wildl. Manage. 32: 82–88.

Gates, C.E. 1969. Simulation study of estimators for the line transect sampling method. Biometrics 25: 317–328.

Järvinen, O.; Vaisänen, R.A. 1975. Estimating relative densities of breeding birds by the line transect method. Oikos 26: 316–322.

King, W. (Ed.). 1974. Pelagic studies of seabirds in the Central and Eastern Pacific Ocean. Smithsonian Contrib. Zool. 158: 1–227.

Nelson, J.B. 1978. The Gannet. T. & A.D. Poyser, Berkhamsted, U.K. 336 pp.

Pennycuik, C.J. 1960. Gliding flight of the Fulmar Petrel. J. Exp. Biol. 37: 330–338.

Powers, K.D. 1982. A comparison of two methods of counting birds at sea. J. Field Ornithol. 53: 209–222.

Ralph, C.J.; Scott, J.M. (Eds.). 1981. Estimating numbers of terrestrial birds. Stud. in Av. Biol. 6. 630 pp.

Schnell, G.D.; Hellack, J.J. 1979. Bird flight speeds in nature: optimized or a compromise? Amer. Nat. 113: 53–66.

Sen, A.R.; Tourigny, J.; Smith, G.E.J. 1974. On the line transect sampling method. Biometrics 30: 329–340.

Tasker, M.L.; Hope-Jones, P.; Dixon, T.; Blake, B.F. 1984. Counting seabirds at sea from ships: a review of methods employed and a suggestion for a standardized approach. Auk 101: 567–577.

Wiens, J.A.; Heinemann, D.; Hoffman, W. 1978. Community structure distribution and interrelationships of marine birds in the Gulf of Alaska. Final reports of principal investigators, vol. 3. Natl. Oceanogr. Atmos. Adm. Boulder, Colorado.

Appendices

Appendix 1
Calculation of density of flying birds when the observer watches less than 360° of arc

If birds are flying at a speed V in a direction θ relative to the boat, then their apparent speed and direction relative to the boat are $V_0(\theta)$ and $\alpha(\theta)$ as defined in equations (5) and (6). When the observer watches less than 360° of arc, the area covered, $A(\theta)$, is a complex shape given by sweeping the observation field along the angle $\alpha(\theta)$ for a distance $V_0(\theta)/6$ (for a standard PIROP watch of 10 min). We assume that birds are equally likely to be travelling in any direction.

Case I. Observing 180° forward centered on direction of boat's travel

In this situation the area covered for birds travelling in apparent direction $\alpha(\theta)$ is shown as the shaded area in Fig. A1. It can be seen that the area is equivalent to a rectangle of length $V_0(\theta)/6$ and width $w(\theta) = r_f(1 + |\cos\alpha|)$ plus a semicircle of radius r_f. Giving an area

$$A(\theta) = \pi r_f^2/2 + r_f(1 + |\cos\alpha|)\, V_0(\theta)/6 \tag{A1}$$

Multiplying this area by the bird density and integrating over θ gives the formula for the number of flying birds seen

$$N_f = \int_{-\pi}^{\pi} \frac{D_f}{2\pi} A(\theta)\, d\theta$$

which can be simplifed to

$$N_f = D_f\left[\pi r_f^2/2 + \frac{r_f}{12\pi}\int_{-\pi}^{\pi} V_0(\theta)\, d\theta + r_f\frac{\sqrt{V^2 - S^2}}{3\pi}\right] \tag{A2}$$

$$= D_f g_1(f_f, V, S) \tag{A3}$$

If S is much smaller than V, then $V_0(\theta)$ is close to V and $\sqrt{V^2 - S^2}$ close to V so equation (A2) can be simplified to

$$N_f = D_f[\pi r_f^2/2 + r_f V(1 + 2/\pi)/6] \tag{A4}$$

Rearranging equation (A3) gives the formula for density of flying birds

$$D_f = \frac{N_f}{g_1(r_f, V, S)} \tag{A5}$$

Case II. Observing 180° to one side of boat

This situation is similar to Case I above. The area covered for birds travelling in apparent direction θ is equivalent to a rectangle of length $V_0(\theta)/6$ and width $w(\theta) = r_f(1 + |\sin\alpha|)$ plus a semicircle of radius r_f (see Fig. A2). Giving an area

$$A(\theta) = \pi r_f^2/2 + r_f(1 + |\sin\alpha|)\, V_0(\theta)/6 \tag{A6}$$

Multiplying by bird density, integrating over θ and simplifying gives the formula for number of flying birds seen

$$N_f = D_f\left[\pi r_f^2/2 + \frac{r_f}{12\pi}\int_{-\pi}^{\pi} V_0(\theta)\, d\theta + \frac{r_f V}{3\pi}\right] \tag{A7}$$

$$= D_f g_2(r_f, V, S) \tag{A8}$$

Figure A1
Effective area covered when watching 180° centered on the boat's heading

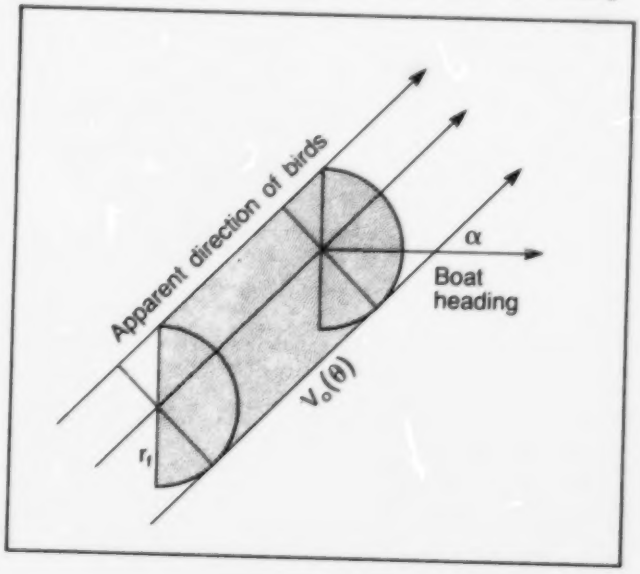
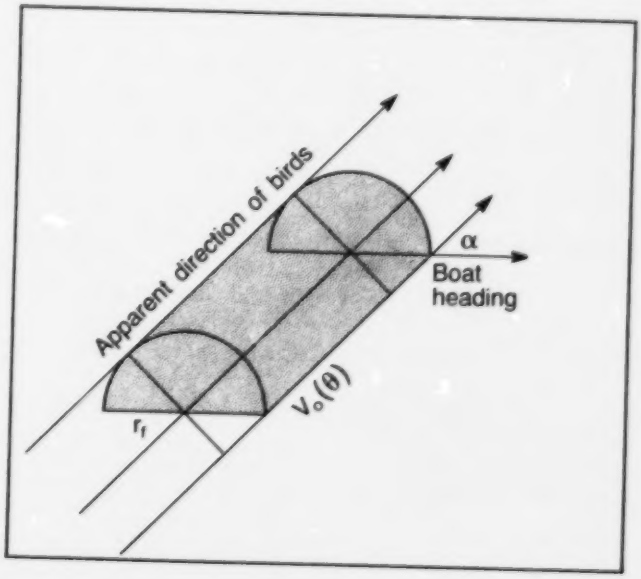


Figure A2
Effective area covered when watching 180° to one side of the boat



If V is much larger than S, then (A7) can be simplified by substituting V for $V_0(\theta)$ to yield

$$N_f = D_f[\pi r_f^2/2 + r_f V(1 + 2/\pi)/6] \tag{A9}$$

Rearranging equation (A8) gives the formula for density of flying birds

$$D_f = \frac{N_f}{g_2(r_f, V, S)} \tag{A10}$$

Case III. Observing 270° forward centered on boat's heading

In this situation, the area covered for birds flying in apparent direction $\alpha(\theta)$ is shown as the shaded area in Figure A3. It can be seen that, for the angle presented in this figure, the area covered is equivalent to *i*) a rectangle of length $V_0(\theta)/6$ and width $r_f[1 + \cos(\alpha - \pi/4)]$, *ii*) three-quarters of a circle of radius r_f, and *iii*) a small triangle contained in the quarter circle not seen at the end of the watch. This small triangle represents an area which passes through the area watched but which is out of the viewing area at the time the watch concludes. This triangle is only present for some values of α. The formulae for the area swept out varies with α

$$-\pi < \alpha < -3\pi/4$$
$$A(\theta) = 3\pi r_f^2/4 + r_f V_0(\theta)/3$$

$$-3\pi/4 < \alpha < -\pi/2$$
$$A(\theta) = 3\pi r_f^2/4 + r_f(1 + \sin(7\pi/4 - \alpha))\, V_0(\theta)/6 + r_f^2 \tan(\alpha - 5\pi/4)/2$$

$$-\pi/2 < \alpha < -\pi/4$$
$$A(\theta) = 3\pi r_f^2/4 + r_f(1 + \cos(7\pi/4 - \alpha))\, V_0(\theta)/6 + r_f^2 \tan(7\pi/4 - \alpha)/2$$

$$-\pi/4 < \alpha < \pi/4$$
$$A(\theta) = 3\pi r_f^2/4 + r_f V_0(\theta)/3$$

$$\pi/4 < \alpha < \pi/2$$
$$A(\theta) = 3\pi r_f^2/4 + r_f(1 + \cos(\alpha - \pi/4))\, V_0(\theta)/6 + r_f^2 \tan(\alpha - \pi/4)/2$$

$$\pi/2 < \alpha < 3\pi/4$$
$$A(\theta) = 3\pi r_f^2/4 + r_f(1 + \sin(\alpha - \pi/4))\, V_0(\theta)/6 + r_f^2 \tan(3\pi/4 - \alpha)/2$$

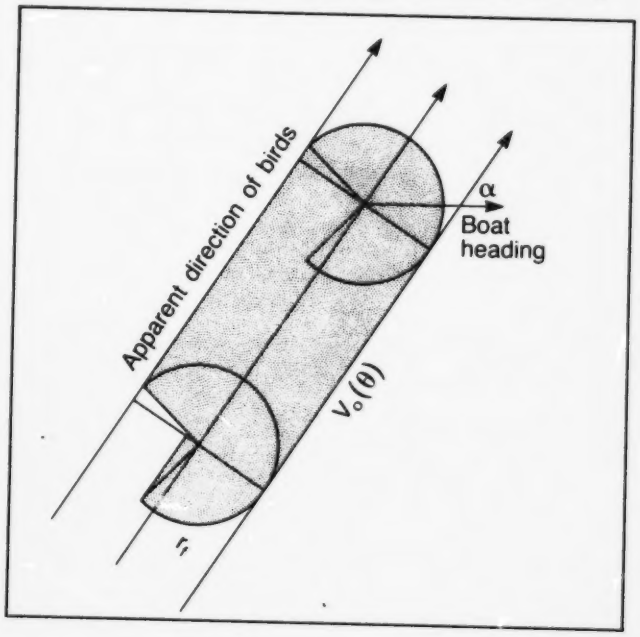
$$3\pi/4 < \alpha < x$$
$$A(\theta) = 3\pi r_f^2/4 + r_f V_0(\theta)/3$$

Multiplying by bird density and integrating over θ gives the formula for number of flying birds counted

$$N_f = \frac{D_f}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} A(\theta)\, d\theta$$
$$= D_f g_3(r_f, V, S) \tag{A11}$$

This equation is difficult to simplify but specific cases can be calculated through numerical integration.

Figure A3
Effective area covered when watching 270° centered on the boat heading



Appendix 2
Formulae to calculate true proportions of birds in flight for observations over various arcs, assuming ship speed is much lower than bird speed

(1) for 360°

$$p' = 1 \Big/ \left(1 + \frac{(1-p)(\pi r_f^2 + r_f V/3)}{p(\pi r_s^2 + r_s S/3)}\right) \qquad \text{(A12)}$$

(2) for 180° ahead

$$p' = 1 \Big/ \left(1 + \frac{(1-p)[\pi r_f^2/2 + r_f v(1 + 2/\pi)/6]}{p(\pi r_s^2/2 + r_s S/3)}\right) \qquad \text{(A13)}$$

(3) for 180° abeam

$$p' = 1 \Big/ \left(1 + \frac{(1-p)[\pi r_s^2/2 + r_f V(1 + 2/\pi)/6]}{p(\pi r_s^2/2 + r_s S/6)}\right) \qquad \text{(A14)}$$

(4) for 270° ahead

$$p' = 1 \Big/ \left(1 + \frac{(1-p) g_3(r_f, V, S)}{p(3\pi r_s^2/4 + r_s S/3)}\right) \qquad \text{(A15)}$$

for a definition of $g_3(r_f, V, S)$ see Appendix 1.

Other publications in the Occasional Papers Series

No. 1
Birds protected in Canada under the Migratory Birds Convention Act, 4th ed. Publication bilingue.
Cat. No. CW69-1/1. Publ. 1957, rev. 1980.
No. 2
Canadian bird names, French, English and scientific.
Publication bilingue.
Cat. No. CW69-1/2. Publ. 1957, rev. 1972.
No. 3
Use of aerial surveys by the Canadian Wildlife Service by D.A. Benson.
Out of print.
Cat. No. CW69-1/3. Publ. 1963, repr. 1966.
No. 4
Queen Elizabeth Islands game survey, 1961 by J.S. Tener.
Cat. No. CW69-1/4. Publ. 1963, repr. 1972.
No. 5
Age determination in the polar bears by T.H. Manning.
Cat. No. CW69-1/5. Publ. 1964, repr. 1973.
No. 6
A wildlife biologist looks at sampling, data processing and computers by D.A. Benson.
Out of print.
Cat. No. R69-1/6. Publ. 1964.
No. 7
Preliminary report on the effects of phosphamidon on bird populations in New Brunswick by C.D. Fowle. Out of print.
Cat. No. R69-1/7. Publ. 1965.
No. 8
Birds of Nova Scotia—New Brunswick border region by G.F. Boyer.
Cat. No. CW69-1/8. Publ. 1966, repr. 1981.
No. 9
Effects of dietary methylmercury on Ring-necked Pheasants, with special reference to reproduction by N. Fimreite.
Cat. No. R69-1/9. Publ. 1971.
No. 10
Trends in populations of barren-ground caribou over the last two decades: a re-evaluation of the evidence by G.R. Parker.
Cat. No. CW69-1/10. Publ. 1971, repr. 1972.
No. 11
The Canada migratory game bird hunting permit and related surveys by D.A. Benson.
Cat. No. R69-1/11. Publ. 1971.
No. 12
Observations on duck hunting in eastern Canada in 1968 and 1969 by H.J. Boyd.
Cat. No. R69-1/12. Publ. 1971.
No. 13
Evaluation of ecological effects of recent low water levels in the Peace–Athabasca Delta by H.J. Dirschl.
Cat. No. CW69-1/13. Publ. 1972.
No. 14
The Great Cormorants of eastern Canada by A.J. Erskine.
Cat. No. CW69-1/14. Publ. 1972
No. 15
Distribution of barren-ground caribou harvest in north-central Canada by G.R. Parker.
Cat. No. CW69-1/15. Publ. 1972.
No. 16
Bird migration forecasts for military air operations by H. Blokpoel.
Cat. No. CW69-1/16. Publ. 1973.
No. 17
Waterfowl populations on the Peace–Athabasca Delta. 1969 and 1970 by D.J. Nieman and H.J. Dirschl.
Cat. No. CW69-1/17. Publ. 1973.
No. 18
Gammarus predation and the possible effects of *Gammarus* and *Chaoborus* feeding on the zooplankton composition in some small lakes and ponds in western Canada by R.S. Anderson and L.G. Raasveldt.
Cat. No. CW69-1/18 Publ. 1974.

No. 19
A summary of DDE and PCB determinations in Canadian birds, 1969 to 1972 by M. Gilbertson and L. Reynolds.
Cat. No. CW69-1/19. Publ. 1974.
No. 20
Development of a simulation model of Mallard Duck populations by C.J. Walters, R. Hilborn, E. Oguss, R.M. Peterman and J.M. Stander.
Cat. No. CW69-1/20. Publ. 1974.
No. 21
Use of museum specimens in toxic chemical research by A.M. Rick.
Cat. No. CW69-1/21. Publ. 1975.
No. 22
Impoundments for waterfowl by W.R. Whitman.
Cat. No. CW69-1/22. Publ. 1976.
No. 23
Minimizing the dangers of nesting studies to raptors and other sensitive species by R.W. Fyfe and R.R. Olendorff.
Cat. No. CW69-1/23. Publ. 1976.
No. 24
Waterfowl damage to Canadian grain: current problems and research needs by L.G. Sugden.
Cat. No. CW69-1/24. Publ. 1976.
No. 25
Census techniques for seabirds of arctic and eastern Canada by D.N. Nettleship.
Cat. No. CW69-1/25. Publ. 1976.
No. 26
Notes on the present status of the polar bear in James Bay and Belcher Islands area by Charles Jonkel, Pauline Smith, Ian Stirling and George B. Kolenosky.
Cat. No. CW69-1/26. Publ. 1976.
No. 27
Limnological and planktonic studies in the Waterton Lakes, Alberta by R. Stewart Anderson and Roderick B. Green.
Cat. No. CW69-1/27. Publ. 1976.
No. 28
Birds and mammals of the Belcher, Sleeper, Ottawa, and King George Islands, Northwest Territories by T.H. Manning.
Cat. No. CW69-1/28. Publ. 1976.
No. 29
Developments in PPS sampling—Impact on current research by A.R. Sen.
Cat. No. CW69-1/29. Publ. 1976.
No. 30
Dynamics of snowshoe hare popuiations in the Maritime Provinces by Thomas J. Wood and Stanley A. Munroe.
Cat. No. CW69-1/30. Publ. 1977.
No. 31
Migration and population dynamics of the Peace–Athabasca Delta goldeye population by D.B. Donald and A.H. Kooyman.
Cat. No. CW69-1/31. Publ. 1977.
No. 32
The effects of fire on the ecology of the Boreal Forest, with particular reference to the Canadian north; a review and selected bibliography by John P. Kelsall, E.S. Telfer and Thomas D. Wright.
Cat. No. CW69-1/32. Publ. 1977.
No. 33
The ecology of the polar bear (*Ursus maritimus*) along the western coast of Hudson Bay by Ian Stirling, Charles Jonkel, Pauline Smith, Richard Robertson and Dale Cross.
Cat. No. CW69-1/33. Publ. 1977.
No. 34
Canvasback habitat use and production in Saskatchewan parklands by Lawson G. Sugden.
Cat. No. CW69-1/34. Publ. 1978.
No. 35
The diets of muskoxen and Peary caribou on some islands of the Canadian High Arctic by Gerald R. Parker.
Cat. No. CW69-1/35. Publ. 1978.

No. 36
Observations of Mallards in the parkland of Alberta by Michael F. Sorensen.
Cat. No. CW69-1/36. Publ. 1978.
No. 37
The wildlife valuation problem: A critical review of economic approaches by William A. Langford and Donald J. Cocheba.
Cat. No. CW69-1/37. Publ. 1978.
No. 38
Spatial changes in waterfowl habitat, 1964-74, on two land types in the Manitoba Newdale Plain by G.D. Adams and G.G. Gentle.
Cat. No. CW69-1/38. Publ. 1978.
No. 39
Patterns of pelagic distribution of seabirds in western Lancaster Sound and Barrow Strait, Northwest Territories, in August and September 1976 by D.N. Nettleship and A.J. Gaston.
Cat. No. CW69-1/39. Publ. 1978.
No. 40
Responses of Peary caribou and muskoxen to helicopter harassment by Frank L. Miller and Anne Gunn.
Cat. No. CW69-1/40. Publ. 1979.
No. 41
Avian community structure of six forest stands in La Mauricie National Park, Quebec by J.-L. DesGranges. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/41E. Publ. 1979.
No. 42
Population ecology studies of the polar bear in northern Labrador by Ian Stirling and H.P.L. Kiliaan. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/42E. Publ. 1980.
No. 43
Census methods for murres, *Uria* species; a unified approach by T.R. Birkhead and D.N. Nettleship. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/43E. Publ. 1980.
No. 44
Population ecology studies of the polar bear in the area of southeastern Baffin Island by Ian Stirling, Wendy Calvert, and Dennis Andriashek. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/44E. Publ. 1980.
No. 45
Polynyas in the Canadian Arctic by Ian Stirling and Holly Cleator, eds. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/45E. Publ. 1981.
No. 46
The Lesser Snow Geese of the eastern Canadian Arctic by H. Boyd, G.E.J. Smith, and F.G. Cooch. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/46E. Publ. 1982.
No. 47
The distribution and abundance of seals in the eastern Beaufort Sea, 1974-79 by Ian Stirling, Michael Kingsley, and Wendy Calvert. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/47E. Publ. 1982.
No. 48
Foraging behaviour of Peary caribou in response to springtime snow and ice conditions by F.L. Miller, E.J. Edmonds, and A. Gunn. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/48E. Publ. 1982.
No. 49
A review of some important techniques in sampling wildlife by A.R. Sen. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/49E. Publ. 1982.
No. 50
Intensive regulation of duck hunting in North America: its purpose and achievements by Hugh Boyd. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/50E. Publ. 1983.
No. 51
Human dimensions of migratory game-bird hunting in Canada by Shane A.D. Parker and Fern L. Filion. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/51E. Publ. 1984.
No. 52
Components of hunting mortality in ducks by G.S. Hochbaum and C.J. Walters. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/52E. Publ. 1984.
No. 53
The interpretation of aerial surveys for seabirds: some effects of behaviour by A.J. Gaston and G.E.J. Smith. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/53E. Publ. 1984.
No. 54
Waterfowl studies in Ontario, 1973–81 by S.G. Curtis, D.G. Dennis, and H. Boyd, eds. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/54E. Publ. 1985.
No. 55
The reported kill of ducks and geese in Canada and the USA, 1974–82 by Hugh Boyd. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/55E. Publ. 1985.
No. 56
Population dynamics of the Common Loon (*Gavia immer*) associated with mercury-contaminated waters in northwestern Ontario by J.F. Barr. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/56E. Publ. 1986.
No. 57
The Ring-billed Gull in Ontario: a review of a new problem species by H. Blokpoel and G.D. Tessier. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/57E. Publ. 1986.
No. 58
The birds of the Creston Valley and southeastern British Columbia by Robert W. Butler, Brian G. Stushnoff, and Edward McMackin. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/58E. Publ. 1986.

A.J. Gaston
B.T. Collins
A.W. Diamond

Estimation de la densité des oiseaux en mer et de la proportion des oiseaux n vol à partir des énombrements effectués ur des transects de argeur indéterminée

Environment CANADA Environnement
0021988F VOL ISS 59 1987
EXC # 001
SK 471 C3314
PUBLICATION HORS-SERIE (SERVICE CAN
ADIEN DE LA FAUNE).
00FF

Environnement Canada
Service canadien de la faune

Environment Canada
Canadian Wildlife Service

A.J. Gaston*
B.T. Collins*
A.W. Diamond*

Estimation de la densité des oiseaux en mer et de la proportion des oiseaux en vol à partir des dénombrements effectués sur des transects de largeur indéterminée

Publication hors série
Numéro 59
Service canadien de la faune

Also available in English

*SCF, Ottawa (Ont.) K1A 0E7

Publié avec l'autorisation du
Ministre de l'Environnement
Service canadien de la faune

©Ministre d'Approvisionnements et Services Canada 1987
Numéro de catalogue: CW69-1/59F
ISBN 0-662-93947-6
ISSN 0576-6370

Conception: Rolf Harder & Assoc.

Table des matières

4	Remerciements
4	**Résumé**
5	**Introduction**
6	**Recherche d'un indice de densité**
6	1. Base de l'indice de densité
6	2. Correction pour les oiseaux sur l'eau
7	3. Correction pour les oiseaux en vol
8	4. Proportions des oiseaux en vol et des oiseaux sur l'eau
8	**Résultats**
8	1. Comparaison des proportions observées et calculées d'oiseaux en vol
8	2. Effet de l'inexactitude de l'estimation des paramètres d'entrée sur la densité estimée des oiseaux
9	3. Comparaison avec les estimations du nombre d'oiseaux par kilomètre
11	**Bibliographie**
12	**Annexes**

Liste des tableaux

7	Tableau 1. Formules pour le calcul de la densité des oiseaux
9	Tableau 2. Proportions observées (non corrigées) des oiseaux en vol
10	Tableau 3. Paramètres d'entrée employés pour l'estimation des proportions réelles des oiseaux en vol
10	Tableau 4. Proportions réelles estimées des oiseaux en vol pour certains mois
10	Tableau 5. Effet d'un changement de 50 % dans les paramètres d'entrée sur les estimations de la densité
10	Tableau 6. Rapport entre la densité estimée à 4 km/h et à 20 km/h pour un changement de 50 % dans les paramètres d'entrée

Liste des figures

8	Figure 1. Rapport entre la proportion réelle des oiseaux en vol et la proportion observée pour différentes hypothèses
12	Figure A1. Superficie effectivement couverte pour un arc d'observation de 180° centré sur le cap (direction du bateau)
12	Figure A2. Superficie effectivement couverte pour un arc d'observation de 180° sur un côté du bateau
13	Figure A3. Superficie effectivement couverte pour un arc d'observation de 270° centré sur le cap (direction du bateau)

Liste des annexes

12	Annexe 1. Calcul de la densité des oiseaux en vol pour un arc d'observation inférieur à 360°
14	Annexe 2. Formules pour le calcul des proportions réelles d'oiseaux en vol, pour divers arcs d'observation, lorsque la vitesse du bateau est beaucoup plus lente que celle des oiseaux

Résumé

Remerciements

Nous remercions Steve Wendt, Hugh Boyd, David Schneider, Declan Troy et John Smith pour leurs observations utiles concernant les ébauches du présent rapport.

Les dénombrements d'oiseaux de mer sont parfois effectués sans établir une limite à la largeur des transects ni mesurer la distance de chaque oiseau compté. Pour obtenir les indices d'abondance, on exprime les résultats de ces dénombrements en nombre d'oiseaux par unité de temps ou par unité de distance parcourue. La prise en considération de la vitesse relative des oiseaux en vol permet d'accroître la comparabilité de ces indices. Les densités relatives des oiseaux en vol et sur l'eau peuvent aussi être estimées. Dans le présent rapport, nous présentons des méthodes à cette fin qui reposent sur la connaissance des vitesses de vol et de l'étendue de détectabilité. Nous examinons l'effet de changements dans les valeurs d'entrée sur nos estimations et nous démontrons que si les espèces sont classées correctement par ordre de détectabilité, nos indices corrigés doivent être supérieurs aux valeurs non corrigées pour les comparaisons entre espèces.

Introduction

Durant les 15 dernières années, des recensements d'oiseaux pélagiques en mer ont été effectués sur de grandes étendues (King, 1974; Brown *et al.*, 1975; Powers, 1982; Tasker *et al.*, 1984). Ces recensements visaient à déterminer la répartition et l'abondance relative de ces oiseaux en vue, notamment, d'évaluer les répercussions possibles de projets d'exploitation pétrolière au large. Dans les premiers recensements, y compris le *Programme intégré des recherches sur les oiseaux pélagiques* (PIROP) parrainé par le Service canadien de la faune (SCF), les observations se faisaient par périodes de 10 min sur des arcs qui variaient et des transects dont la largeur n'était pas fixe. Les recensements ainsi effectués ont l'avantage de ne pas exiger que l'observateur sache estimer la largeur des transects ou utiliser un indicateur de distance. Par conséquent, des observateurs inexpérimentés peuvent y participer, ce qui est un facteur important sur les grandes étendues où l'on veut mettre à profit toutes les possibilités d'obtenir des données.

Les résultats des recensements faits sans transects de largeur fixe sont normalement exprimés en nombre d'oiseaux par unité de temps ou par kilomètre linéaire. Les deux formes sont utilisées comme indices de la densité des oiseaux, mais elles ont des inconvénients. Les observations exprimées en nombre d'oiseaux par unité de temps ont une variance élevée, attribuable à la vitesse du bateau. Par ailleurs, dans les nombres d'oiseaux par kilomètre linéaire, il n'est pas tenu compte du fait qu'à basse vitesse, la plupart des oiseaux en vol comptés entrent dans le champ d'observation non à cause du déplacement du bateau, mais à cause de leur déplacement à eux.

La plupart des auteurs qui se sont intéressés aux observations d'oiseaux pélagiques en mer ont traité de ces problèmes (voir les références données dans Tasker *et al.*, 1984). Dans tous les cas, la possibilité de produire un meilleur indice d'abondance par la prise en considération d'autres facteurs que le temps et la vitesse du bateau a été rejetée, car les variables additionnelles (portée de détection, vitesse de vol) ne pouvaient être mesurées avec une précision suffisante pour que l'effort vaille la peine. Les recensements intensifs des oiseaux de mer réalisés au cours des 10 dernières années ont généralement été effectués sur des transects de largeur fixe ou ont comporté l'estimation de la distance à laquelle les oiseaux étaient aperçus (Ainley et Boekelheide, 1983; Tasker *et al.*, 1984; Weins *et al.*, 1978; Briggs *et al.*, 1985). Dans tous les cas, ils reposaient sur une équipe d'observateurs entraînés.

Nous présentons ici nos efforts en vue de produire un meilleur indice d'abondance, un indice qui serait moins variable et qui permettrait des comparaisons quantitatives entre les dénombrements faits à différentes vitesses (bateaux) et entre les espèces. Nous croyons que l'information disponible sur la portée de détection et la vitesse de vol, bien que brute, nous permet encore d'améliorer de beaucoup les indices utilisés auparavant. Pour contrôler la robustesse de notre indice, nous avons examiné, pour plusieurs cas simulés, l'effet qu'avaient sur lui des erreurs dans les paramètres d'entrée. Nous avons également comparé l'efficacité de notre indice et de l'indice linéaire (nombre d'oiseaux par kilomètre linéaire).

En fait, les recensements par transects des oiseaux pélagiques en mer ne diffèrent des autres estimations par transects linéaires des oiseaux que par le fait qu'une grande proportion des oiseaux aperçus sont en vol. Il devient donc important d'employer un indice de densité qui tient compte de l'entrée des oiseaux en vol dans le transect au cours de la période d'observation. Si beaucoup d'auteurs se sont penchés sur les transects linéaires et en bande pour l'observation des oiseaux terrestres (voir Anderson *et al.*, 1976; Järvinen et Vaïsänen, 1975; Sen *et al.*, 1974; Burnham *et al.*, 1980; et les références données dans Ralph et Scott, 1981), les méthodes décrites ne tiennent pas compte du déplacement des oiseaux qui n'est pas relié à l'observateur.

Recherche d'un indice de densité

La base de données du PIROP renferme des données d'observation pour les 15 dernières années (Brown *et al.*, 1975; Brown, 1986). Comme ces données étaient obtenues par un grand nombre d'observateurs dont certains n'avaient qu'une expérience limitée, les méthodes d'enregistrement des données ont été maintenues simples. Tous les oiseaux aperçus au cours d'une période de 10 min ont été comptés, sans égard à leur distance. Dans certains cas, l'activité des oiseaux (c.-à-d. en vol, sur l'eau) a également été consignée. Divers autres renseignements sur les conditions atmosphériques, l'état de la mer, la hauteur de l'observateur au-dessus du niveau de la mer, etc., ont également été pris en note pour chaque période d'observation, de même que la vitesse du bateau. D'autres détails sont donnés dans Brown *et al.* (1975).

Des cartes préparées à partir de cette base de données font voir la densité des oiseaux, soit leur nombre moyen relevé par kilomètre pour un mois donné dans un carré de grille. Elles donnent une bonne idée de la présence ou de l'absence des oiseaux ainsi que de leur abondance relative. Les chiffres présentés, du moins pour les espèces communes, ont été calculés à partir d'un grand nombre de rapports (environ 300 000); ils reposent probablement sur des échantillons de taille suffisante pour que l'effet des variations aléatoires dans la proportion d'oiseaux aperçus et l'étendue couverte (à cause des conditions atmosphériques et de la visibilité, p. ex.) soit relativement peu important. Toutefois, l'abondance relative des oiseaux, exprimée en nombre d'oiseaux par kilomètre, présente une corrélation systématique avec la vitesse du bateau. Comme celle-ci n'est ni constante ni indépendante du lieu (ex.: les vitesses moyennes pour les données du PIROP sont généralement plus élevées aux latitudes supérieures du fait d'une corrélation existant avec le type de bateau employé et la période de l'année), il y a donc un biais dans les comparaisons entre régions. En outre, les comparaisons de l'abondance relative entre espèces de taille et de couleur différentes sont influencées par les différences quant à la distance à laquelle les oiseaux peuvent être décelés. Les espèces plus faciles à déceler semblent plus répandues qu'elles ne le sont réellement par rapport aux espèces peu visibles.

1. Base de l'indice de densité

L'indice repose sur l'estimation (1) de la superficie où une espèce donnée aurait pu être décelée durant une période d'observation et (2) du nombre d'oiseaux en vol entrant dans le champ de vision de l'observateur durant une période d'observation. Nos formules ont été établies en fonction des périodes d'observation de 10 min utilisées pour le PIROP (Brown *et al.*, 1975), mais elles pourraient être facilement modifiées pour des périodes d'observation différentes. Nous utilisons les termes suivants:

- superficie couverte (A) = superficie totale où une espèce donnée aurait pu être décelée au cours d'une période d'observation (km^2);
- densité des oiseaux (D) = nombre réel d'oiseaux par unité de superficie à un instant donné (nombre/km^2);
- rayon de détection (r) = distance à laquelle une espèce donnée peut être décelée (km);
- arc d'observation = angle délimitant le champ de détection de l'observateur.

À l'intérieur du champ potentiel de détection, ce ne sont pas tous les oiseaux qui sont comptés, et la proportion de ceux qui le sont varie en fonction de la distance. La fonction exprimant la proportion des oiseaux aperçus par rapport à la distance est appelée fonction de détection (Burnham *et al.*, 1980), et diverses techniques ont été employées pour l'estimer et l'utiliser afin de corriger les chiffres bruts. La forme de cette fonction varie probablement selon l'espèce (Weins *et al.*, 1978), et comme elle est inconnue pour la majorité des espèces qui nous intéressent, nous n'avons pas essayé de l'utiliser. À la place, nous avons fait reposer notre modèle sur la supposition que tous les oiseaux sont aperçus s'ils se trouvent dans un rayon donné (estimateur de type II de Weins *et al.*, 1978) et nous avons utilisé la moyenne arithmétique des distances de détection (Gates, 1968 et 1969).

2. Correction pour les oiseaux sur l'eau

Normalement, les oiseaux qui sont sur l'eau se reposent ou se déplacent lentement par rapport au bateau. Par conséquent, ils peuvent être considérés comme des objets stationnaires, de sorte que le nombre de ceux qui sont aperçus par unité de temps est fonction de la superficie couverte (A_s) et de la densité des oiseaux (D_s). (L'indice «s» est employé pour indiquer qu'il s'agit des oiseaux se trouvant à la surface de l'eau.)

On a donc:

$$N_s = A_s D_s \qquad [1]$$

où N_s est le nombre d'oiseaux d'une espèce donnée aperçus au cours d'une période d'observation.

La superficie couverte est déterminée par la distance à laquelle un oiseau peut être décelé (r_s), la vitesse du bateau (S, en km/h) et l'arc d'observation.

Tableau 1
Formules pour le calcul de la densité (*a*) des oiseaux sur l'eau, et (*b*) des oiseaux en vol, dans le cas où la vitesse du bateau est beaucoup plus faible que celle des oiseaux

Arc couvert	Densité des oiseaux sur l'eau	Densité des oiseaux en vol
360°	$N_s/(\pi r_s^2 + r_s S/3)$	$N_f/(\pi r_f^2 + r_f V/3)$
180° centré sur le cap (direction du bateau)	$N_s/(\pi r_s^2/2 + r_s S/3)$	$N_f/[\pi r_f^2/2 + r_f V(1 + 2/\pi)/6]$
180° sur un côté du bateau	$N_s/(\pi r_s^2/2 + r_s S/6)$	$N_f/[\pi r_f^2/2 + r_f V(1 + 2/\pi)/6]$
270° centré sur le cap (direction du bateau)	$N_s/(3\pi r_s^2/4 + r_s S/3)$	$N_f/g_3(r_f, V, S)$*

*Voir annexe 1, cas III.

Considérons d'abord le cas où le champ d'observation est de 360°. La superficie couverte se présente alors comme une longue bande rectangulaire se terminant par un demi-cercle à chaque bout.

$$A_s = \pi r_s^2 + 2r_s tS \qquad [2]$$

où t est le temps d'observation en heures. Comme les périodes d'observation pour le PIROP sont uniformément de 10 min, l'équation [2] peut être simplifiée comme suit:

$$A_s = \pi r_s^2 + r_s S/3 \qquad [3]$$

Si on réarrange l'équation [1] et qu'on y transpose l'équation [3], on obtient:

$$D_s = N_s/(\pi r_s^2 + r_s S/3) \qquad [4]$$

Dans certains cas, les observations faites pour le PIROP portaient sur un arc de cercle de moins de 360°. On trouvera au tableau 1 les superficies couvertes dans trois cas: (*i*) arc de 270° divisé symétriquement par rapport au cap (direction du bateau); (*ii*) arc de 180° divisé symétriquement par rapport au cap; et (*iii*) arc de 180° sur un côté du bateau. Dans les cas où le code indiqué est 315° ou 360° par intermittence, on considère que l'arc d'observation est de 360°.

3. Correction pour les oiseaux en vol

Dans la superficie effectivement couverte par un transect, il doit être tenu compte de la vitesse et de la direction des oiseaux par rapport au bateau. (L'indice «f» est le nombre d'oiseaux en vol.) Lorsque les oiseaux arrivent dans le transect en volant à une vitesse V dans une direction θ par rapport au bateau, il a été démontré par Gaston et Smith (1984) que leur vitesse par rapport au bateau est:

$$V_0(\theta) = V\sqrt{\cos(\theta - S/V)^2 + (\sin\theta)^2} \qquad [5]$$

et que les oiseaux semblent venir d'une direction $\alpha(\theta)$ où

$$\tan\alpha(\theta) = \frac{\sin\theta}{\cos\theta - S/V} \qquad [6]$$

Lorsque l'arc d'observation est de 360°, la superficie couverte a la forme d'une longue bande rectangulaire faisant un angle $\alpha(\theta)$ par rapport au cap (direction du bateau), avec un demi-cercle à chaque extrémité. La largeur de cette bande est de $2r_f$, et sa longueur, de $V_0(\theta)/6$ (pour une période d'observation de 10 min). Par conséquent, la superficie de la bande observée pour des oiseaux volant dans la direction θ est:

$$A(\theta) = \pi r_f^2 + 2r_f V_0(\theta)/6 \qquad [7]$$

Si $D_f(\theta)$ représente la densité des oiseaux volant dans la direction θ, en supposant une probabilité égale pour toutes les directions de vol, on a alors $D_f(\theta) = D_f/2\pi$, où D_f représente la densité globale des oiseaux en vol. La densité des oiseaux aperçus volant dans la direction θ est donnée par $D_f(\theta)\,A(\theta)$, et le nombre total d'oiseaux aperçus est calculé par intégration sur θ.

$$N_f = \int_{-\pi}^{\pi} \frac{D_f}{2\pi}[\pi r_f^2 + r_f V_0(\theta)/3]\,d\theta \qquad [8]$$

Cette équation est difficile à manipuler algébriquement, mais elle peut être résolue par intégration numérique. Par ailleurs, si la vitesse du bateau est beaucoup plus lente que celle des oiseaux, $V_0(\theta)$ sera près de V. En remplaçant $V_0(\theta)$ par V dans l'équation [8], on obtient:

$$N_f = D_f(\pi r_f^2 + r_f V/3) \qquad [9]$$

L'effet du remplacement de $V_0(\theta)$ par V a été examiné par intégration numérique de l'équation [8]. L'intégrale a été évaluée par la méthode des trapèzes avec 1000 points de division. Nous avons ainsi constaté que lorsque la vitesse du bateau ne dépasse pas le cinquième de celle des oiseaux, l'erreur causée par le remplacement est inférieure à 1 % et qu'elle grimpe à 6 % lorsque la vitesse du bateau est la moitié de celle des oiseaux.

La formule pour la densité des oiseaux en vol s'obtient par réarrangement de l'équation [8]:

$$D_f = \frac{N_f}{\int_{-\pi}^{\pi}[\pi r_f^2 + r_f V_0(\theta)/3]/2\pi\,d\theta} \qquad [10]$$

Dans le cas où S est beaucoup plus petit que V, la densité des oiseaux en vol est:

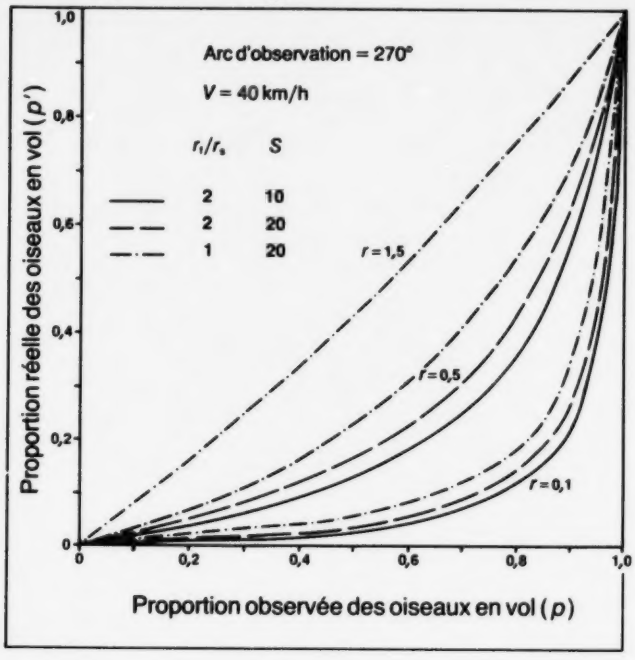
$$D_f = \frac{N_f}{\pi r_f^2 + r_f V/3} \qquad [11]$$

Le mode de calcul des formules pour les trois cas où l'observateur ne regarde qu'une partie de l'arc de 360° est donné à l'annexe 1. Les formules pour le cas où B est beaucoup plus faible que V sont données au tableau 1.

Les équations [10] et [11] ainsi que celles du tableau 1 ne s'appliquent que si les oiseaux peuvent venir de n'importe quelle direction avec une probabilité égale. Si les oiseaux volent tous dans la même direction et que le bateau est en mouvement, l'angle entre la direction du bateau et celle des oiseaux influe sur le nombre des oiseaux aperçus. Cette information n'apparaît pas dans la plupart des cas dans les fichiers du PIROP. Nous avons donc supposé que les erreurs ainsi introduites seront aléatoires pour différentes régions et différentes espèces.

En réalité, il n'a pas toujours été indiqué dans les données si les oiseaux étaient en vol ou sur l'eau. Par conséquent, nous devons utiliser les proportions déterminées à partir du sous-ensemble des observations (ordinairement ≥ 50 %) pour lesquelles cette information est disponible. Si p désigne la proportion des oiseaux qui sont recensés comme étant en vol, on a $N_f = N_p$ et $N_s = N(1 - p)$.

Figure 1
Rapport entre la proportion réelle des oiseaux en vol (p') et la proportion observée (p) pour différentes hypothèses



Il est nécessaire de modifier cette formule dans le cas des oiseaux se déplaçant en zigzag. La vitesse à laquelle ces oiseaux entrent dans le champ d'observation est proportionnelle à leur vitesse moyenne au sol pour un certain nombre de zigzags. Nous avons employé une constante différente pour chaque espèce (K) pour estimer la vitesse moyenne au sol (V'); on a:

$$V' = V/K$$

où K varie de 1,0 (espèces volant le plus en ligne droite [alcidés]), à 1,5 (espèces dont la direction de vol est moins droite [procellariidés]). (Voir Croxall *et al.*, 1984.)

Lorsque cette modification s'applique, V est remplacé par V' partout.

4. Proportions des oiseaux en vol et des oiseaux sur l'eau

La proportion réelle des oiseaux en vol (p') peut être estimée à l'aide de l'équation suivante:

$$p' = D_t/(D_t + D_s) \qquad [12]$$

En remplaçant D_s et D_t par leur expression dans les équations [4] et [11], nous pouvons estimer p' à partir des valeurs de p, r_t, r_s, V et S. Le cas où S est beaucoup plus faible que V est traité à l'annexe 2.

Les estimations de p' pour différentes valeurs de p révèlent que la différence entre les deux est maximale lorsque p est d'environ 0,5 et minimale dans les cas extrêmes où p est près de 0 ou de 1 (figure 1). En utilisant des valeurs hypothétiques pour r_s, r_t et V, nous avons constaté relativement peu de différences dans les estimations de p' pour différentes valeurs de r_t par rapport à r_s. La différence entre les deux diminue lorsque la vitesse du bateau est grande et que la vitesse de vol est faible, mais elle demeure importante pour $V = 40$ avec $S = 20$ et $V = 20$ avec $S = 10$ (figure 1).

Résultats

1. Comparaison des proportions observées et calculées d'oiseaux en vol

Les proportions d'oiseaux en vol (p) ont été calculées pour 19 taxons à partir des données du PIROP pour chacun des sept mois de septembre à mars (tableau 2). (Les oiseaux classés dans les catégories de comportement 10, 40 à 43, 60 et 65 ont été comptés comme des oiseaux en vol [F], et ceux des catégories 20 à 30 inclusivement, comme des oiseaux nageant ou à la surface de l'eau [S] [Brown *et al.*, 1975]; par conséquent, $p = F/[F + S]$.)

Ces valeurs de p ont ensuite été utilisées pour estimer les proportions réelles d'oiseaux en vol chaque mois à l'aide des équations [10] et [12]. La vitesse moyenne des bateaux pour chaque mois a également été calculée à partir des données du PIROP. Les valeurs pour la vitesse de vol des oiseaux (V), le rayon de détection (r_s) et le rapport r_t/r_s ont été tirées d'ouvrages déjà parus (tableau 3). Les indices pour les vols en zigzag (K) ont été établis à partir des observations occasionnelles. Pour une meilleure comparabilité, nous avons pris toutes les estimations de r_s d'une même source (Dixon, 1977).

Les valeurs calculées de p sont données au tableau 4; lorsqu'on les compare avec les données du tableau 2, on peut voir jusqu'à quel point le nombre d'oiseaux en vol peut être surestimé si aucune correction n'est faite. Dans le cas des «espèces-mois» pour lesquels au moins 95 % des observations sont des observations d'oiseaux en vol, l'effet est assez faible, les estimations des proportions réelles d'oiseaux en vol dépassant 80 %. Toutefois, lorsque la proportion des oiseaux aperçus en vol est inférieure à 80 %, l'effet est remarquable, les estimations des valeurs réelles étant en majeure partie inférieures de 70 % aux proportions observées. La correction a donc une grande importance en ce qui concerne l'utilisation des recensements faits en mer pour déterminer la proportion du temps passé à voler pour certaines espèces, notamment lorsque les données sont utilisées pour estimer la dépense énergétique journalière.

2. Effet de l'inexactitude de l'estimation des paramètres d'entrée sur la densité estimée des oiseaux

Pour contrôler l'effet d'une variation dans les paramètres d'entrée, nous avons établi deux modèles: (1) modèle pour une espèce du type du «macareux», présentant un faible contraste avec la mer et volant rapidement et en ligne droite; et (2) modèle pour une espèce du type du «fulmar», se détachant bien sur la mer et volant plus lentement en zigzaguant beaucoup. Les valeurs données aux variables sont tirées du tableau 3. Dans chaque cas, nous avons supposé une

densité de 100 oiseaux/km^2 et, à l'aide des équations [4] et [7], nous avons calculé le nombre d'oiseaux qu'apercevrait un observateur balayant l'horizon tout autour de lui (360°) et la proportion des oiseaux comptés qui seraient en vol. Ensuite, en gardant le nombre d'oiseaux aperçus constant, nous avons recalculé la densité estimée en changeant tour à tour la valeur de chaque paramètre d'entrée de +50 % et de −50 % (tableau 5).

La densité estimée (D), pour les deux modèles, s'est révélée plus sensible aux changements de la valeur de r_s et moins sensible aux changements de la valeur de V'. La valeur réelle de V' se situe probablement bien à l'intérieur des valeurs extrêmes testées pour les deux modèles, et le degré d'exactitude de cette variable paraît répondre aux besoins du modèle. La proportion des oiseaux en vol, déterminée directement à partir des données d'observation employées pour les calculs, est probablement connue avec une exactitude suffisante. Malheureusement, la variable à laquelle les modèles sont les plus sensibles, r_s, est la plus difficile à mesurer et celle pour laquelle les mesures disponibles sont donc les moins précises.

3. Comparaison avec les estimations du nombre d'oiseaux par kilomètre

À cause de l'effet important de la variable peu précise r_s sur les densités estimées, il n'apparaît pas opportun d'employer les équations [4] et [7] pour estimer la densité réelle. Par contre, on peut s'en servir pour obtenir une indication de la densité relative. Ces équations présentent plusieurs avan-

Tableau 2
Proportions observées (non corrigées) des oiseaux en vol

Espèces	Janv.	Fév.	Mars	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Fulmar boréal (*Fulmarus glacialis*)	0,80	0,83	0,43	0,37	0,69	0,79	0,98
Grand Puffin (*Puffinus gravis*)				0,79	0,60	0,98	1,00
Puffin fuligineux (*Puffinus griseus*)				0,96	0,57		
Pétrels (*Oceanites oceanicus* et *Oceanodroma leucorhoa*)				0,97	0,72		
Fou de Bassan (*Sula bassanus*)				0,92	0,79	0,66	0,97
Phalaropes (*Phalaropus* spp.)				0,37	0,82	0,51	
Labbes (*Stercorarius* spp.)				0,75	0,70	0,95	
Labbes (*Catharacta* spp.)				0,87	1,00		
Mouette tridactyle (*Rissa tridactyla*)	0,37	0,59	0,67	0,44	0,55	0,78	0,55
Mouette blanche (*Pagophila eburnea*)	0,11	0,92		0,81		1,00	0,90
Goéland argenté (*Larus argentatus*)	0,88	0,85	0,93	0,23	0,70	0,80	0,94
Goéland arctique (*Larus glaucoides*)	0,50	0,88	0,82	0,75	0,29	0,51	
Goéland à manteau noir (*Larus marinus*)	0,65	0,55	0,58	0,39	0,78	0,82	0,99
Goéland bourgmestre (*Larus hyperboreus*)	0,89	0,68	0,06	0,46	0,50	0,58	0,93
Mergule nain (*Alle alle*)	0,93	0,92	0,85	0,18	0,71	0,75	0,62
Marmettes (*Uria* spp.)	0,66	0,56	0,76	0,56	0,53	0,70	0,83
Guillemot noir (*Cepphus grylle*)		0,37	0,06	0,80	0,91		
Macareux moine (*Fratercula arctica*)	0,50			0,68	0,40	0,20	
Vitesse moyenne des bateaux (km/h)	19,50	21,60	16,70	18,90	19,30	18,50	23,20
Arc moyen d'observation*	0,64	0,66	0,73	0,73	0,73	0,61	0,62

*1,0 = 360°.

tages par rapport au nombre d'oiseaux par kilomètre (N/S), indice employé auparavant.

Premièrement, le nouvel indice (appelé ci-après «indice surfacique» par opposition à «indice linéaire») est beaucoup moins sensible à la vitesse du bateau. Pour les estimations de D pour lesquelles toutes les variables d'entrée sont correctes, la vitesse du bateau n'a naturellement aucun effet sur l'indice surfacique. Le rapport de l'indice surfacique à 4 km/h sur celui à 20 km/h calculé pour une erreur de 50 % dans les variables d'entrée est indiqué au tableau 6. Pour les conditions posées initialement, les rapports calculés sont tous beaucoup plus près de l'unité que les rapports correspondants pour l'indice linéaire (tableau 6). Cela est vrai pour toutes les valeurs de r, sauf les valeurs très faibles pour lesquelles les deux indices convergent.

Deuxièmement, l'indice surfacique réduit le biais à l'endroit des espèces moins visibles. Avec nos suppositions initiales, l'indice linéaire donne pour les fulmars un chiffre qui est 2,9 fois celui obtenu pour les macareux à une vitesse de l'embarcation de 20 km/h, et l'écart augmente pour les vitesses plus faibles. Par contre, avec une erreur de 50 % dans la variable la plus importante (r) pour les fulmars, on obtient un indice surfacique qui est seulement 2,1 fois celui obtenu pour les macareux à 20 km/h. Des erreurs similaires dans la même direction pour les deux espèces donnent lieu à des différences négligeables dans la valeur relative de leurs indices surfaciques. Par conséquent, l'exactitude de l'estimation de l'abondance relative de différentes espèces fournie par les indices surfaciques est fonction de l'exactitude relative des variables d'entrée pour ces espèces. Dans le cas de r, ses valeurs relatives peuvent probablement être établies avec une plus grande confiance que ses valeurs réelles. Par exemple, supposons que r_s se situe entre 0,2 et 0,5 km pour les marmettes et entre 0,4 et 0,8 km pour les fulmars. Toutefois, si nous prenons une valeur de 0,5 km pour les marmettes, nous devrons certainement prendre une valeur d'au moins 0,6 km pour les fulmars qui sont des oiseaux plus pâles et, donc, plus facilement décelables sur la mer et en vol.

À condition que les valeurs de r_s choisies pour différentes espèces soient ordonnées correctement, les comparaisons interspécifiques reposant sur l'indice surfacique seront toujours plus exactes que les comparaisons similaires reposant sur l'indice linéaire.

Tableau 3
Paramètres d'entrée employés pour l'estimation des proportions réelles des oiseaux en vol (p'). Les chiffres entre parenthèses indiquent la source

Espèces	Vitesse (km/h)	r_s (km)	r_f/r_s	K pour zigzag
Fulmar boréal	43 ± 4(1)	0,35 ± 0,19(2)	1,3(6)	1,5
Grand Puffin	40	0,3	1,3	1,3
Puffin fuligineux	40	0,25	1,1(6)	1,3
Pétrels	35	0,15	1,3	1,5
Fou de Bassan	72 ± 7(3)	0,36 ± 0,14(2)	1,3	1,3
Phalaropes	35	0,15	1,3	1,0
Stercorarius spp.	40	0,27 ± 0,18(2)	1,3	1,3
Catharacta spp.	40	0,40 ± 0,11(2)	1,3	1,3
Mouette tridactyle	34 ± 6(4)	0,22 ± 0,08(2)	1,9(6)	1,3
Mouette blanche	35	0,4	1,3	1,3
Goéland argenté	39 ± 4(4)	0,5	1,0(6)	1,3
Goéland arctique	39	0,5	1,0	1,3
Goéland à manteau noir	40	0,54 ± 0,11(2)	1,0	1,3
Goéland bourgmestre	40	0,6	1,0(6)	1,3
Mergule nain	45	0,15	1,8	1,0
Marmettes	58(5)	0,22 ± 0,09(2)	1,3(6)	1,0
Guillemot noir	50(5)	0,2	1,2	1,0
Macareux moine	50	0,21 ± 0,08(2)	1,8(6)*	1,0

SOURCES: (1) Pennycuik, 1960; (2) Dixon, 1977; (3) Nelson, 1978; (4) Schnell et Hellack, 1979; (5) Bradstreet, 1982; (6) Wiens *et al.*, 1978.

*Les chiffres utilisés sont ceux pour le Macareux cornu (*Fratercula corniculata*).

Tableau 5
Effet d'un changement de 50 % dans les paramètres d'entrée sur les estimations de la densité (D). La vitesse du bateau est de 10 km/h

	Modèle du «macareux»*		Modèle du «fulmar»†	
Paramètre d'entrée	+50 %	−50 %	+50 %	−50 %
Rayon de visibilité à la surface de l'eau, r_s	−36	+109	−37	+114
r_f/r_s, x_i	−5	+15	−9	+27
Vitesse de vol, V	−6	+7	−5	+10
Proportion en vol, p'	−36	+36	−25	+25

*r_s = 0,21 km, r_f = 0,315 km, V = 50 km/h, K = 1,0.
†r_s = 0,35 km, r_f = 0,45 km, V = 43 km/h, K = 1,5.

Tableau 6
Rapport entre la densité estimée à 4 km/h et à 20 km/h (D_4/D_{20}) pour un changement de 50 % dans les paramètres d'entrée

	Modèle du «macareux»*		Modèle du «fulmar»†	
Paramètre d'entrée	+50 %	−50 %	+50 %	−50 %
Rayon de visibilité à la surface de l'eau, r_s	0,90	1,14	0,89	1,18
r_f/r_s, x_i	1,03	0,92	1,05	0,90
Vitesse de vol, V	1,02	0,97	1,02	0,99
Proportion en vol, p'	0,86	1,06	0,84	1,10
N/S (indice linéaire)	1,50		1,82	

*†Paramètres d'entrée comme au tableau 4.

Tableau 4
Proportions réelles estimées des oiseaux en vol pour certains mois

Espèces	Janv.	Fév.	Mars	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	$\bar{x}$
Fulmar boréal	0,66	0,71	0,25	0,26	0,57	0,65	0,97	0,58
Grand Puffin				0,64	0,41	0,96	1,00	0,75
Puffin fuligineux				0,93	0,42			0,67
Pétrels				0,95	0,59			0,77
Fou de Bassan				0,77	0,52	0,36	0,90	0,64
Phalaropes				0,20	0,65	0,19		0,35
Stercorarius spp.				0,58	0,52	0,90		0,67
Catharacta spp.				0,76	1,00			0,88
Mouette tridactyle	0,17	0,33	0,41	0,21	0,29	0,55	0,29	0,32
Mouette blanche	0,06	0,85		0,69		1,00	0,82	0,68
Goéland argenté	0,83	0,79	0,90	0,16	0,60	0,72	0,91	0,70
Goéland arctique	0,39	0,83	0,75	0,66	0,21	0,40		0,54
Goéland à manteau noir	0,54	0,44	0,47	0,29	0,69	0,74	0,98	0,59
Goéland bourgmestre	0,84	0,58	0,04	0,35	0,39	0,47	0,90	0,51
Mergule nain	0,76	0,73	0,57	0,05	0,37	0,42	0,28	0,45
Marmettes	0,35	0,26	0,46	0,26	0,24	0,39	0,57	0,36
Guillemot noir		0,16	0,02	0,57	0,77			0,38
Macareux moine	0,18			0,32	0,13	0,05		0,17

Bibliographie

Ainley, D.G.; Boekelheide, R.J. 1983. An ecological comparison of oceanic seabird communities of the south Pacific Ocean. Studies in Avian Biol. 8: 2–23.

Anderson, D.R.; Laake, J.L.; Crain, B.R.; Burnham, K.P. 1976. Guidelines for line transect sampling of biological populations. Utah State Univ. Press. Logan, Utah. 27 pp.

Bradstreet, M.S.W. 1982. Occurence, habitat use and behaviour of seabirds, marine mammals and arctic cod at the Pond Inlet ice edge. Arctic 35: 28–40.

Briggs, K.T.; Tyler, W.B.; Lewis, D.B. 1985. Comparison of ship and aerial surveys of birds at sea. J. Wildl. Manage. 49: 405–411.

Brown, R.G.B. 1986. Atlas révisé des oiseaux de mer de l'est du Canada. 1. Relevés effectués à bord de bateaux. Serv. can. de la faune, Dartmouth (N.-É.). 111 pp.

Brown, R.G.B.; Nettleship, D.N.; Germain, P.; Tull, C.E.; Davis, T. 1975. Atlas des oiseaux de mer de l'est du Canada. Serv. can de la faune, Ottawa. 220 pp.

Burnham, K.P.; Anderson, D.R.; Laake, J.L. 1980. Estimation of density from line transect sampling of biological populations. Wildl. Monogr. 72. 202 pp.

Croxall, J.P.; Ricketts, C.; Prince, P.A. 1984. Impact of seabirds on marine resources, especially Krill, of South Georgia waters. Pages 285 à 317 *dans* Whittow, G.C.; Rahn, H. (réd), Seabird Energetics. Plenum Press, New York.

Dixon, T.J. 1977. The distance at which sitting birds can be seen at sea. Ibis 119: 372–374.

Gaston, A.J.; Smith, G.E.J. 1984. Interprétation des relevés aériens d'oiseaux de mer: certains effets du comportement. Serv. can. de la faune. Publ. hors série n° 53. 20 pp.

Gates, C.E. 1968. A preliminary appraisal of line transects. J. Wildl. Manage. 32: 82–88.

Gates, C.E. 1969. Simulation study of estimators for the line transect sampling method. Biometrics 25: 317–328.

Järvinen, O.; Vaïsänen, R.A. 1975. Estimating relative densities of breeding birds by the line transect method. Oikos 26: 316–322.

King, W. (réd.). 1974. Pelagic studies of seabirds in the Central and Eastern Pacific Ocean. Smithsonian Contrib. Zool. 158: 1–227.

Nelson, J.B. 1978. The Gannet. T. & A.D. Poyser, Berkhamsted, R.-U. 336 pp.

Pennycuik, C.J. 1960. Gliding flight of the Fulmar Petrel. J. Exp. Biol. 37: 330–338.

Powers, K.D. 1982. A comparison of two methods of counting birds at sea. J. Field Ornithol. 53: 209–222.

Ralph, C.J.; Scott, J.M. (réd.). 1981. Estimating numbers of terrestrial birds. Stud. in Av. Biol. 6. 630 pp.

Schnell, G.D.; Hellack, J.J. 1979. Bird flight speeds in nature: optimized or a compromise? Amer. Nat. 113: 53–66.

Sen, A.R.; Tourigny, J.; Smith, G.E.J. 1974. On the line transect sampling method. Biometrics 30: 329–340.

Tasker, M.L.; Hope-Jones, P.; Dixon, T.; Blake, B.F. 1984. Counting seabirds at sea from ships: a review of methods employed and a suggestion for a standardized approach. Auk 101: 567–577.

Wiens, J.A.; Heinemann, D.; Hoffman, W. 1978. Community structure distribution and interrelationships of marine birds in the Gulf of Alaska. Final reports of principal investigators, vol. 3. Natl. Oceanogr. Atmos. Adm. Boulder, Colorado.

Annexes

Annexe 1
Calcul de la densité des oiseaux en vol pour un arc d'observation inférieur à 360°

Prenons des oiseaux volant à une vitesse V dans une direction θ par rapport au bateau; leur vitesse et direction apparentes par rapport au bateau sont donc de $V_0(\theta)$ et $\alpha(\theta)$ selon les équations [5] et [6]. Lorsque l'arc d'observation est inférieur à 360°, la superficie couverte, $A(\theta)$, a une forme complexe, soit celle obtenue en déplaçant le champ d'observation suivant un angle de $\alpha(\theta)$ sur une distance de $V_0(\theta)/6$ (pour une période d'observation de 10 min). Il est supposé que les oiseaux peuvent se déplacer dans toutes les directions avec une probabilité égale.

Cas I. Observation sur un arc de 180° centré sur le cap (direction du bateau)

Dans ce cas, pour des oiseaux se déplaçant dans une direction apparente $\alpha(\theta)$, la superficie couverte a la forme représentée par la zone ombragée de la figure A1. Cette superficie a la forme d'un rectangle de longueur $V_0(\theta)/6$ et de largeur $w(\theta) = r_1(1 + |\cos\alpha|)$ avec à un bout un demi-cercle de rayon r_1. L'équation pour la superficie couverte est donc:

$$A(\theta) = \pi r_1^2/2 + r_1(1 + |\cos\alpha|)\, V_0(\theta)/6 \qquad [A1]$$

Si on multiplie cette superficie par la densité des oiseaux et qu'on intègre sur θ, on obtient la formule pour le nombre d'oiseaux en vol aperçus:

$$N_1 = \int_{-\pi}^{\pi} \frac{D_1}{2\pi} A(\theta)\, d\theta$$

laquelle peut être simplifiée comme suit:

$$N_1 = D_1\left[\pi r_1^2/2 + \frac{r_1}{12\pi}\int_{-\pi}^{\pi} V_0(\theta)\, d\theta + r_1\frac{\sqrt{V^2 - S^2}}{3\pi}\right] \qquad [A2]$$

$$= D_1 g_1(f_1, V, S) \qquad [A3]$$

Si S est bien plus faible que V, alors $V_0(\theta)$ converge vers V, et $\sqrt{V^2 - S^2}$, vers V, de sorte que l'équation [A2] peut être simplifiée comme suit:

$$N_1 = D_1[\pi r_1^2/2 + r_1 V(1 + 2/\pi)/6] \qquad [A4]$$

En réarrangeant l'équation [A3], on obtient la formule pour la densité des oiseaux en vol:

$$D_1 = \frac{N_1}{g_1(r_1, V, S)} \qquad [A5]$$

Cas II. Arc d'observation de 180° sur un côté du bateau

Ce cas est semblable au cas précédent. Pour des oiseaux se déplaçant dans une direction apparente θ, la superficie couverte correspond à un rectangle de longueur $V_0(\theta)/6$ et de largeur $w(\theta) = r_1(1 + |\sin\alpha|)$ avec à un bout un demi-cercle de rayon r_1 (voir figure A2). Elle peut donc être présentée par l'équation suivante:

$$A(\theta) = \pi r_1^2/2 + r_1(1 + |\sin\alpha|)\, V_0(\theta)/6 \qquad [A6]$$

Si on multiplie par la densité des oiseaux et qu'on intègre sur θ, on obtient, après simplification, la formule pour le nombre d'oiseaux en vol aperçus:

$$N_1 = D_1\left[\pi r_1^2/2 + \frac{r_1}{12\pi}\int_{-\pi}^{\pi} V_0(\theta)\, d\theta + \frac{r_1 V}{3\pi}\right] \qquad [A7]$$

$$= D_1 g_2(r_1, V, S) \qquad [A8]$$

Figure A1
Superficie effectivement couverte pour un arc d'observation de 180° centré sur le cap (direction du bateau)

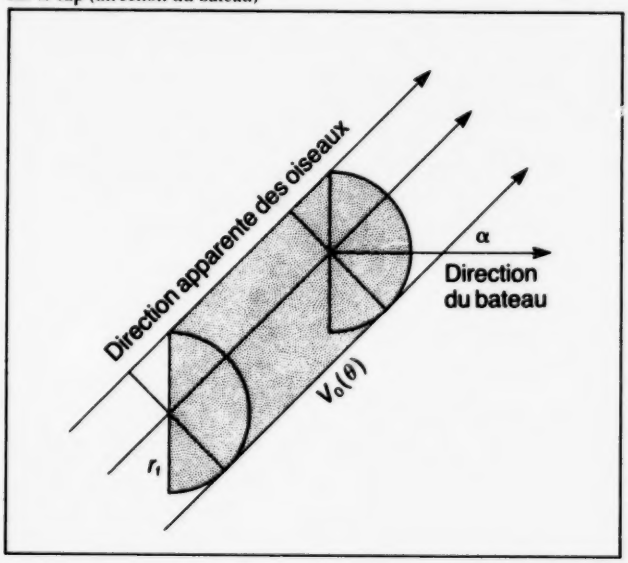
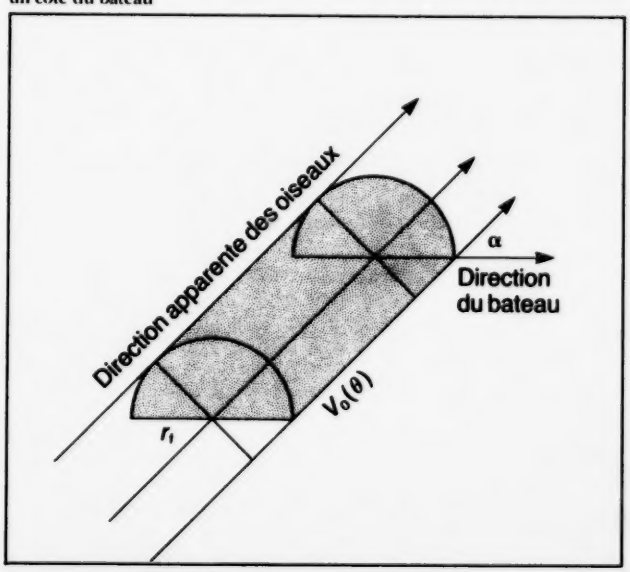


Figure A2
Superficie effectivement couverte pour un arc d'observation de 180° sur un côté du bateau



Si V est beaucoup plus élevée que S, on peut alors simplifier l'équation [A7] en remplaçant $V_0(\theta)$ par V, ce qui donne:

$$N_1 = D_1[\pi r_1^2/2 + r_1 V(1 + 2/\pi)6] \qquad [A9]$$

En réarrangeant l'équation [A8], on obtient la formule pour la densité des oiseaux en vol:

$$D_1 = \frac{N_1}{g_2(r_1, V, S)} \qquad [A10]$$

Cas III. Arc d'observation de 270° centré sur le cap (direction du bateau)

La superficie couverte dans ce cas, pour des oiseaux volant dans une direction apparente $\alpha(\theta)$, est représentée par la zone ombragée de la figure A3. On peut voir que, pour l'angle présenté dans la figure, cette superficie est équivalente: (*i*) à un rectangle de longueur $V_0(\theta)/6$ et de largeur $r_1[1 + \cos(\alpha - \pi/4)]$, (*ii*) aux trois quarts d'un cercle de rayon r_1, et (*iii*) à un petit triangle contenu dans le quart de cercle non vu à la fin de la période d'observation. Ce petit triangle représente une étendue qui se trouve dans la zone couverte, mais qui n'est pas visible au moment où la période d'observation se termine. Il n'est présent que pour certaines valeurs de α. Les formules pour la superficie couverte varient selon α:

Pour $-\pi < \alpha < -3\pi/4$

$$A(\theta) = 3\pi r_1^2/4 + r_1 V_0(\theta)/3$$

Pour $-3\pi/4 < \alpha < -\pi/2$

$$A(\theta) = 3\pi r_1^2/4 + r_1[1 + \sin(7\pi/4 - \alpha)]\, V_0(\theta)/6 + r_1^2 \tan(\alpha - 5\pi/4)/2$$

Pour $-\pi/2 < \alpha < -\pi/4$

$$A(\theta) = 3\pi r_1^2/4 + r_1[1 + \cos(7\pi/4 - \alpha)]\, V_0(\theta)/6 + r_1^2 \tan(7\pi/4 - \alpha)/2$$

Pour $-\pi/4 < \alpha < \pi/4$

$$A(\theta) = 3\pi r_1^2/4 + r_1 V_0(\theta)/3$$

Pour $\pi/4 < \alpha < \pi/2$

$$A(\theta) = 3\pi r_1^2/4 + r_1[1 + \cos(\alpha - \pi/4)]\, V_0(\theta)/6 + r_1^2 \tan(\alpha - \pi/4)/2$$

Pour $\pi/2 < \alpha < 3\pi/4$

$$A(\theta) = 3\pi r_1^2/4 + r_1[1 + \sin(\alpha - \pi/4)]\, V_0(\theta)/6 + r_1^2 \tan(3\pi/4 - \alpha)/2$$

Pour $3\pi/4 < \alpha < x$

$$A(\theta) = 3\pi r_1^2/4 + r_1 V_0(\theta)/3$$

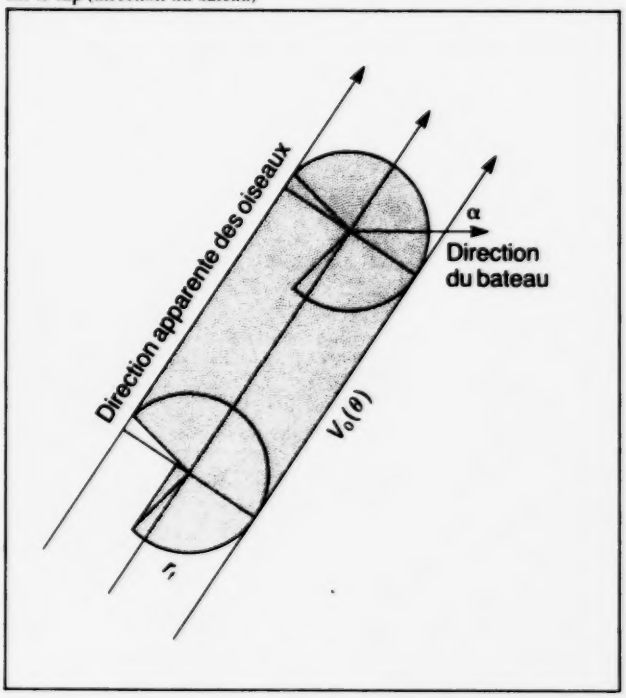
En multipliant par la densité des oiseaux et en intégrant sur θ, on obtient la formule pour le nombre d'oiseaux en vol comptés:

$$N_1 = \frac{D_1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} A(\theta)\, d\theta$$

$$= D_1 g_3(r_1, V, S) \qquad [A11]$$

Cette équation est difficile à simplifier, mais on peut la résoudre par intégration numérique pour des cas précis.

Figure A3
Superficie effectivement couverte pour un arc d'observation de 270° centré sur le cap (direction du bateau)



Annexe 2

Formules pour le calcul des proportions réelles d'oiseaux en vol, pour divers arcs d'observation, lorsque la vitesse du bateau est beaucoup plus lente que celle des oiseaux

(1) arc de 360°

$$p' = 1 \Big/ \left(1 + \frac{(1 - p)(\pi r_1^2 + r_1 V/3)}{p(\pi r_s^2 + r_s S/3)}\right) \qquad [A12]$$

(2) arc de 180° à l'avant

$$p' = 1 \Big/ \left(1 + \frac{(1 - p)[\pi r_1^2/2 + r_1 V(1 + 2/\pi)/6]}{p(\pi r_s^2/2 + r_s S/3)}\right) \qquad [A13]$$

(3) arc de 180° sur un côté

$$p' = 1 \Big/ \left(1 + \frac{(1 - p)[\pi r_s^2/2 + r_1 V(1 + 2/\pi)/6]}{p(\pi r_s^2/2 + r_s S/6)}\right) \qquad [A14]$$

(4) arc de 270° à l'avant

$$p' = 1 \Big/ \left(1 + \frac{(1 - p) g_3(r_1, V, S)}{p(3\pi r_s^2/4 + r_s S/3)}\right) \qquad [A15]$$

Pour une définition de $g_3(r_1, V, S)$, voir l'annexe 1.

Autres publications hors série

N° 1
Les oiseaux protégés au Canada en vertu de la Loi sur la Convention concernant les oiseaux migrateurs, 4e éd. Bilingual publication.
N° de cat. CW69-1/1. Publ. en 1957, rév. en 1980.
N° 2
Noms des oiseaux du Canada. Noms français, anglais et scientifiques. Bilingual publication.
N° de cat. CW69-1/2. Publ. en 1957, rév. en 1972.
N° 3
Use of aerial surveys by the Canadian Wildlife Service, par D.A. Benson.
Épuisé.
N° de cat. CW69-1/3. Publ. en 1963, réimp. en 1966.
N° 4
Queen Elizabeth Islands game survey, 1961, par J.S. Tener.
N° de cat. CW69-1/4. Publ. en 1963, réimp. en 1972.
N° 5
Age determination in the polar bears, par T.H. Manning.
N° de cat. CW69-1/5. Publ. en 1964, réimp. en 1973.
N° 6
A wildlife biologist looks at sampling, data processing and computers, par D.A. Benson.
Épuisé.
N° de cat. R69-1/6. Publ. en 1964.
N° 7
Preliminary report on the effects of phosphamidon on bird populations in New Brunswick, par C.D. Fowle.
Épuisé.
N° de cat. R69-1/7. Publ. en 1965.
N° 8
Birds of Nova Scotia — New Brunswick border region, par G.F. Boyer.
N° de cat. CW69-1/8. Publ. en 1966, réimp. en 1981.
N° 9
Effects of dietary methylmercury on Ring-necked Pheasants, with special reference to reproduction, par N. Fimreite.
N° de cat. R69-1/9. Publ. en 1971.
N° 10
Trends in populations of barren-ground caribou over the last two decades: a re-evaluation of the evidence, par G.R. Parker.
N° de cat. CW69-1/10. Publ. en 1971, réimp. en 1972.
N° 11
The Canada migratory game bird hunting permit and related surveys, par D.A. Benson.
N° de cat. R69-1/11. Publ. en 1971.
N° 12
Observations on duck hunting in eastern Canada in 1968 and 1969, par H.J. Boyd.
N° de cat. R69-1/12. Publ. en 1971.
N° 13
Evaluation of ecological effects of recent low water levels in the Peace–Athabasca Delta, par H.J. Dirschl.
N° de cat. CW69-1/13. Publ. en 1972.
N° 14
The Great Cormorants of eastern Canada, par A.J. Erskine.
N° de cat. CW69-1/14. Publ. en 1972
N° 15
Distribution of barren-ground caribou harvest in north-central Canada, par G.R. Parker.
N° de cat. CW69-1/15. Publ. en 1972.
N° 16
Bird migration forecasts for military air operations, par H. Blokpoel.
N° de cat. CW69-1/16. Publ. en 1973.
N° 17
Waterfowl populations on the Peace–Athabasca Delta. 1969 and 1970, par D.J. Nieman et H.J. Dirschl.
N° de cat. CW69-1/17. Publ. en 1973.
N° 18
Gammarus predation and the possible effects of *Gammarus* and *Chaoborus* feeding on the zooplankton composition in some small lakes and ponds in western Canada, par R.S. Anderson et L.G. Raasveldt.
N° de cat. CW69-1/18 Publ. en 1974.
N° 19
A summary of DDE and PCB determinations in Canadian birds, 1969 to 1972, par M. Gilbertson et L. Reynolds.
N° de cat. CW69-1/19. Publ. en 1974.
N° 20
Development of a simulation model of Mallard Duck populations, par C.J. Walters, R. Hilborn, E. Oguss, R.M. Peterman et J.M. Stander.
N° de cat. CW69-1/20. Publ. en 1974.
N° 21
Use of museum specimens in toxic chemical research, par A.M. Rick.
N° de cat. CW69-1/21. Publ. en 1975.
N° 22
Impoundments for waterfowl, par W.R. Whitman.
N° de cat. CW69-1/22. Publ. en 1976.
N° 23
Minimizing the dangers of nesting studies to raptors and other sensitive species, par R.W. Fyfe et R.R. Olendorff.
N° de cat. CW69-1/23. Publ. en 1976.
N° 24
Waterfowl damage to Canadian grain: current problems and research needs, par L.G. Sugden.
N° de cat. CW69-1/24. Publ. en 1976.
N° 25
Census techniques for seabirds of arctic and eastern Canada, par D.N. Nettleship.
N° de cat. CW69-1/25. Publ. en 1976.
N° 26
Notes on the present status of the polar bear in James Bay and Belcher Islands area, par C. Jonkel, P. Smith, I. Stirling et G.B. Kolenosky.
N° de cat. CW69-1/26. Publ. en 1976.
N° 27
Limnological and planktonic studies in the Waterton Lakes, Alberta, par R.S. Anderson et R.B. Green.
N° de cat. CW69-1/27. Publ. en 1976.
N° 28
Birds and mammals of the Belcher, Sleeper, Ottawa, and King George Islands, Northwest Territories par T.H. Manning.
N° de cat. CW69-1/28. Publ. en 1976.
N° 29
Developments in PPS sampling — Impact on current research, par A.R. Sen.
N° de cat. CW69-1/29. Publ. en 1976.
N° 30
Dynamics of snowshoe hare populations in the Maritime Provinces, par T.J. Wood et S.A. Munroe.
N° de cat. CW69-1/30. Publ. en 1977.
N° 31
Migration and population dynamics of the Peace–Athabasca Delta goldeye population, par D.B. Donald et A.H. Kooyman.
N° de cat. CW69-1/31. Publ. en 1977.
N° 32
The effects of fire on the ecology of the Boreal Forest, with particular reference to the Canadian north; a review and selected bibliography, par J.P. Kelsall, E.S. Telfer et T.D. Wright.
N° de cat. CW69-1/32. Publ. en 1977.
N° 33
The ecology of the polar bear (*Ursus maritimus*) along the western coast of Hudson Bay, par I. Stirling, C. Jonkel, P. Smith, R. Robertson et D. Cross.
N° de cat. CW69-1/33. Publ. en 1977.
N° 34
Canvasback habitat use and production in Saskatchewan parklands, par L.G. Sugden.
N° de cat. CW69-1/34. Publ. en 1978.

N° 35
The diets of muskoxen and Peary caribou on some islands of the Canadian High Arctic, par G.R. Parker.
N° de cat. CW69-1/35. Publ. en 1978.
N° 36
Observations of Mallards in the parkland of Alberta, par M.F. Sorensen.
N° de cat. CW69-1/36. Publ. en 1978.
N° 37
The wildlife valuation problem: A critical review of economic approaches, par W.A. Langford et D.J. Cocheba.
N° de cat. CW69-1/37. Publ. en 1978.
N° 38
Spatial changes in waterfowl habitat, 1964-74, on two land types in the Manitoba Newdale Plain, par G.D. Adams et G.G. Gentle.
N° de cat. CW69-1/38. Publ. en 1978.
N° 39
Patterns of pelagic distribution of seabirds in western Lancaster Sound and Barrow Strait, Northwest Territories, in August and September 1976, par D.N. Nettleship et A.J. Gaston.
N° de cat. CW69-1/39. Publ. en 1978.
N° 40
Responses of Peary caribou and muskoxen to helicopter harassment, par F.L. Miller et A. Gunn.
N° de cat. CW69-1/40. Publ. en 1979.
N° 41
Des communautés aviennes du parc national de la Mauricie, Québec, par J.-L. DesGranges. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/41F. Publ. en 1979.
N° 42
Études écologiques de la population d'ours blancs dans le nord du Labrador, par I. Stirling et H.P.L. Kiliaan. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/42F. Publ. en 1980.
N° 43
Méthodes de recensement des marmettes, espèce *Uria* : une approche unifiée, par T.R. Birkhead et D.N. Nettleship.
Also available in English.
N° de cat. CW69-1/43F. Publ. en 1980.
N° 44
Études écologiques des populations d'ours blancs dans le sud-est de l'île Baffin, par I. Stirling, W. Calvert et D. Andriashek.
Also available in English.
N° de cat. CW69-1/44F. Publ. en 1980.
N° 45
Les polynies dans l'Arctique canadien, par I. Stirling et H. Cleator (réd.).
Also available in English.
N° de cat. CW69-1/45F. Publ. en 1981.
N° 46
Les Petites Oies blanches de l'est de l'Arctique canadien, par H. Boyd, G.E.J. Smith et F.G. Cooch. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/46F. Publ. en 1982.
N° 47
Répartition et abondance des phoques dans la partie orientale de la mer de Beaufort, 1974–1979, par I. Stirling, M. Kingsley et W. Calvert.
Also available in English.
N° de cat. CW69-1/47F. Publ. en 1983.
N° 48
Le comportement alimentaire du caribou de Peary selon les conditions de la neige et de la glace au printemps, par F.L. Miller, E.J. Edmonds et A. Gunn. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/48F. Publ. en 1982.
N° 49
Étude de quelques techniques importantes d'échantillonnage de la faune, par A.R. Sen. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/49F. Publ. en 1982.
N° 50
Réglementation intensive de la chasse aux canards en Amérique du Nord: but et réalisations, par H. Boyd. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/50F. Publ. en 1983.
N° 51
Dimension humaine de la chasse aux oiseaux-gibier migrateurs au Canada, par S.A.D. Parker et F.L. Filion. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/51F. Publ. en 1984.
N° 52
Éléments de la mortalité attribuable à la chasse chez le canard, par G.S. Hochbaum et C.J. Walters. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/52F. Publ. en 1984.
N° 53
Interprétation des relevés aériens d'oiseaux de mer: certains effets du comportement, par A.J. Gaston et G.E.J. Smith. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/53F. Publ. en 1984.
N° 54
Étude sur les oiseaux aquatiques en Ontario, de 1973 à 1981, par S.G. Curtis, D.G. Dennis et H. Boyd, réd. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/54F. Publ. en 1985.
N° 55
Prises déclarées de canards, d'oies et de bernaches au Canada et aux États-Unis, de 1974 à 1982, par H. Boyd. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/55F. Publ. en 1985.
N° 56
La dynamique des populations de Huards à collier (*Gavia immer*) et les eaux contaminées au mercure dans le nord-ouest de l'Ontario, par J.F. Barr.
Also available in English.
N° de cat. CW69-1/56F. Publ. en 1986.
N° 57
Les Goélands à bec cerclé en Ontario : une nouvelle espèce problème, par H. Blokpoel et G.D. Tessier. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/57F. Publ. en 1986.
N° 58
Les oiseaux de la vallée de Creston et du sud-est de la Colombie-Britannique, par R.W. Butler, B.G. Stushnoff et E.McMackin.
Also available in English.
N° de cat. CW69-1/58F. Publ. en 1986.